汉译世界学术名著丛书

科学史

及其与哲学和宗教的关系

上　册

〔英〕W.C.丹皮尔 著



汉译世界学术名著丛书

科学史

及其与哲学和宗教的关系

下　册

〔英〕W.C.丹皮尔 著



汉译世界学术名著丛书

科学史

及其与哲学和宗教的关系

上册

〔英〕W.C. 丹皮尔 著

李珩 译

张今 校





商务印书馆

1997年·北京



汉译世界学术名著丛书

科　学　史

及其与哲学和宗教的关系

下　册

〔英〕W.C.丹皮尔 著

李　珩 译

张　今 校



商　务　印　书　馆

1997年·北京

汉译世界学术名著丛书

科　学　史

及其与哲学和宗教的关系

（全　两　册）

〔英〕W.C. 丹皮尔 著

李　珩 译　张　今 校

商　务　印　书　馆　出　版

（北京王府井大街36号　邮政编码100710）

新华书店总店北京发行所发行

民　族　印　刷　厂　印　刷

ISBN　7-100-00527-2/B・70

1975年9月第1版　　开本 850×1168 1/32

1997年4月北京第7次印刷　　字数 460千

印数 10 000册　　印张 23 ½ 插页 8

（60克纸本）定价：28.00元

汉译世界学术名著丛书

出版说明

我馆历来重视移译世界各国学术名著。从五十年代起，更致力于翻译出版马克思主义诞生以前的古典学术著作，同时适当介绍当代具有定评的各派代表作品。幸赖著译界鼎力襄助，三十年来印行不下三百余种。我们确信只有用人类创造的全部知识财富来丰富自己的头脑，才能够建成现代化的社会主义社会。这些书籍所蕴藏的思想财富和学术价值，为学人所熟知，毋需赘述。这些译本过去以单行本印行，难见系统，汇编为丛书，才能相得益彰，蔚为大观，既便于研读查考，又利于文化积累。为此，我们从 1981 年至 1986 年先后分四辑印行了名著二百种。今后在积累单本著作的基础上将陆续以名著版印行。由于采用原纸型，译文未能重新校订，体例也不完全统一，凡是原来译本可用的序跋，都一仍其旧，个别序跋予以订正或删除。读书界完全懂得要用正确的分析态度去研读这些著作，汲取其对我有用的精华，剔除其不合时宜的糟粕，这一点也无需我们多说。希望海内外读书界、著译界给我们批评、建议，帮助我们把这套丛书出好。

商务印书馆编辑部

1987 年 2 月

“自然如不能被目证那就不能被征服”①

最初，人们尝试用魔咒
来使大地丰产，
来使家禽牲畜不受摧残，
来使幼小者降生时平平安安。

接着，他们又祈求反复无常的天神，
不要降下大火与洪水的灾难；
他们的烟火缭绕的祭品，
在鲜血染红的祭坛上焚燃。

后来又有大胆的哲人和圣贤，
制订了一套固定不变的方案，
想用思维或神圣的书卷
来证明大自然应该如此这般。

但是大自然在微笑——史芬克斯式的笑脸②。

---

① 原文是拉丁文：“Natura enim non nisi parendo vincitur”。

② 史芬克斯（Sphinx）是希腊神话中的狮身人面兽。据说，她在古代埃及的提佛城（Thebes）郊外守着大路口，向过路人提出一个谜语。猜不中的人就被她吃掉。这个谜语就是：什么动物早晨四条腿走路，正午两条腿走路，傍晚三条腿走路？谜底是人。后来，奥狄浦斯（Oedipus）从那里经过，猜中了这个谜语。于是，史芬克斯就自己把自己杀死。而奥狄浦斯以后也就成了提佛城的国王。在西方的文学中，史分克斯象征着难解的谜团。——译注

注视着好景不常的哲人和圣贤，
她耐心地等了一会——
他们的方案就烟消云散。

接着就来了一批热心人，地位比较卑贱，
他们并没有什么完整的方案，
满足于扮演跑龙套的角色，
只是观察。幻想和检验。

从此，在混沌一团中，
字谜画的碎片就渐次展现；
人们摸清了大自然的脾气，
服从大自然，又能控制大自然。

变化不已的图案在远方闪光；
但它的景象不断变幻，
却没有揭示出碎片的底细，
更没有揭示出字谜画的意义。

大自然在微笑——
仍然没有供出她内心的秘密；
她不可思议地保护着
猜不透的史芬克斯之谜。

1929年9月于多塞特郡希尔费尔德

目　录

原　　序

现代科学的巨大宏伟的大厦，或许是人类心灵的最伟大的胜 利。但是，它的起源、发展和成就的故事却是历史当中人们知道得最少的部分之一，而且我们也很难在一般文献中找到它的踪迹。历史学家所讲的不外是战争、政治和经济；揭露原子秘密，在我们眼前揭开空间深度等活动，虽然使哲学思想起了革命并使我们有可能把物质生活提高到历代梦想不到的水平，但是关于这些活动的发展情况，大部分历史学家却没有讲到，或很少讲到。

在希腊人看来，哲学和科学是一个东西，在中世纪，两者又和神学合为一体。文艺复兴以后，采用实验方法研究自然，哲学和科学才分道扬镳；因为自然哲学开始建立在牛顿动力学的基础上，而康德和黑格尔的追随者则引导唯心主义的哲学离开了当代的科学，同时，当代的科学也很快地就对形而上学不加理会了。不过，进化论的生物学以及现代数学和物理学，却一方面使科学思想臻于深邃，另一方面又迫使哲学家对科学不得不加以重视，因为科学现在对哲学，对神学，对宗教，又有了意义。与此同时，物理学本来有很长时间就一直在寻找，并且找到了所观察到的现象的机械模型，这时却似乎终于接触到一些新概念，在这些概念里，机械模型是不中用的，同时也似乎终于接触到一些根本的东西，这些东西，用牛顿的话来说，“肯定不是机械的”。

大多数科学家一向朴素地认为他们所处理的就是终极的实在，现在，科学家们开始更清楚地看出他们的工作的真正性质了。

科学方法主要是分析性的，要尽可能地用数学的方式并按照物理学的概念，来对现象作出解释。但是，现在我们晓得，物理科学的根本概念都是我们的心灵所形成的一些抽象概念，目的在于给表面上一团混乱的现象带来秩序和简单性。因此，通过科学走向实在，就只能得到实在的几个不同方面，就只能得到用简单化了的线条绘成的图画，而不能得到实在自身。不过，话虽这样说，就连哲viii学家现在也开始明白，在用形而上学的方法研究实在的时候，科学的方法和成果是现有的最好不过的证据，而一种新的实在论，如果可能的话，就必须利用这些科学的方法和成果来建立。

就在这时候，人们对于科学以及科学同其他思想形式的相互作用的历史，也重新产生了兴趣。1913年在比利时开始发行期刊《爱西斯》(*Isis*)，后来又成立了一个总部设在美国的国际性组织科学史学会。这些都标志着这个问题的一个新的发展时期。哲学的复兴和历史研究的复兴大概是有着联系的，因为数学家或实验家在解决某一具体问题的时候，只需要了解他的直接前辈的工作，研究一般科学的比较深刻的意义以及科学同其他思想领域的关系的人们，却不能不了解科学所以有今天的来龙去脉。

自从惠威尔(Whewell)写出关于归纳科学的历史和哲学的著作以来，迄今差不多一百年了。他的谨慎周详的判断至今仍有其用处和价值。在惠威尔的时代以后，不但科学知识有极大的进步，就是过去的历史也因为有许多专门的研究而弄得更清楚了。效法惠威尔重新写作一部普通科学史的时候已经来到了。它需要的不是关于某一时期或某一问题的详细研究，而是科学思想发展的完备的轮廓。我相信，这样一部科学史在科学本身的内在意义和科学与哲学及宗教的关系问题上，都可以给人很多教益。

文艺复兴时期的人文主义者重新去研究希腊文，不但是为了

语言和文学的缘故，而且也是因为在希腊哲学家的著作中可以找到关于自然界的最好不过的知识。因此，当时的古典教育就包含了一切自然知识。到现在，情况早已不是这样了，因此，如果有一种文化建立在两千年前的语言的基础上，它就不能很充分地代表真正的希腊精神，除非它同时研究以往的科学的方法和成就以及目前的科学的方法和成就，而对自然知识在未来的不断增进，抱着乐观的瞻望。

这本书的总的纲目是以我和我的妻子所写的一份关于这个问题的纲要为基础的。那份纲要在1912年由朗曼斯公司 (Messrs Longmans)出版，题目是《科学与人的心灵》(*Science and the Human Mind*)。我还利用和发挥了我在其他几部著作中提出的见解，特别是下列几种著作：《物理科学的发展近况》(*The Recent Development of Physical Science*,莫雷公司出版，共五版，1904年至1924年)；《剑桥现代史》(*Cambridge Modern History*,1910年)第十二卷中论述《科学时代》(*The Scientific Age*)的一章；ix 《大英百科全书》(1911)第十一版中的《科学》(*Science*)一文；《剑桥科学文献选》(*Cambridge Readings in the Literature of Science*) 1924年至1929年的一卷中收集的科学经典文章；1927年德文郡学会 (Devonshire Association) 会长关于牛顿时代的演说；以及哈姆斯华思公司(Harmsworth)出版的《世界史》(*Universal History*, 1928) 中论述《现代科学的诞生》(*The Birth of Modern Science*)的一章。对于以上各著作的发行人，我都应致以谢意。

我当然无法一一指出本书各章的材料来源。但是，我必须指出，我得力于萨尔顿博士 (Dr George Sarton) 的历史著作和好友怀德海博士 (Dr A. N. Whitehead) 及爱丁顿教授 (Professor

Eddington）的科学和哲学著作的地方很多。萨尔顿博士的不朽著作《科学史导论》（*Introduction to the History of Science*）第一卷在1927年出版，因此，在叙述古代和中古时代早期的情况的时候，我得以利用他所搜集的宝贵材料。我们怀着莫大的兴趣期待着他这部著作其他各卷的出版。

许多朋友对本书原稿或清样的各部分提出批评，我对他们给予我个人的莫大帮助，深表感谢。罗伯逊教授（Professor D. S. Robertson）审阅了讨论《古代世界的科学》的第一章；斯特沃特博士（Dr H. F. Stewart）审阅了讨论《中世纪》的一章；卢瑟福爵士（Sir Ernest Rutherford）（后来成为勋爵）审阅了讨论《物理学的新时代》的一章；爱丁顿教授审阅了讨论相对论和天体物理学的几节及讨论《科学的哲学及其观点》的最后一章，而我的女儿玛格丽特（Margaret），即安德森（Bruce Anderson）夫人审阅了讨论生物学的部分和绪论部分。埃利奥特（Christine Elliott）小姐做了大部分文书工作；她反复抄录手稿平均达五次之多，并且提出了许多批评和意见。我的妹妹和我的女儿伊迪丝（Edith）分担了编制索引的繁重工作。我诚恳地感谢他们；这本书如果有任何价值的话，在很大程度上应归功于他们的帮助。

我开始研究的时候，是想把我自己对于本书所讨论的极其重要的问题的见解清理出一个头绪来，结果就写成这本书。我写这本书主要是为了自己的兴趣和乐趣，但是我也希望一部分读者会觉得我的劳动对他们自己也是有用的。

丹皮尔-惠商

1929年8月于剑桥

第 二 版 序

本书出版以后不到几个月就需要再版，很可以说明它所讨论的问题不但是科学家感到兴趣的，也是比较广大的一般读者感到兴趣的。

再没有什么故事能比科学思想发展的故事更有魅力了——这是人类世世代代努力了解他们所居住的世界的故事。不但这样，这个故事在目下还特别富于兴趣，因为我们可以看见富于历史意义的知识的大综合之一正在我们的眼底下进行，我们可以感觉到我们正处在重大事件的前夕。我坚信科学是历史的适当题材，也是文学的基础。如果我能帮助把这个信念灌注到别人的心中，我就心满意足了。

许多书评作家和记者对第一版中的具体问题，提出了有教益的批评。我愿意向他们表示感谢。如果我没有采纳他们的全部意见的话，我也至少对他们的意见作过仔细的考虑。我特别要感谢我的朋友秦斯爵士(Sir James Jeans)和艾德里安教授(Professor E. D. Adrian)给予我的帮助。

丹皮尔-惠商

1930年 3 月于剑桥

第三版序

本书第二版和第三版的印行之间相隔十一年之久，有一段时间还绝了版。第三版迟迟不能发行是不可避免的，这是因为在第二次世界大战爆发前后有许多紧急工作要做的缘故。

在1930—1940的十年间，人们进行了不少新的科学研究，获得很多惊人的发现。而且，在那个期间，科学史本身也成为一门公认的专门学科。这方面的系统研究使过去的情况更加大白于世。大量文献涌现出来，但是，在讨论一般科学史的著作中，只要提到下列几种就够了：希思爵士(Sir Thomas Heath)的《希腊数学》(*Greek Mathematics*,1931)和《希腊天文学》(*Greek Astronomy*,1932)；萨尔顿博士的《科学史导论》(1931年)的第二卷的两册，这两册一直叙述到十三世纪末叶；沃尔夫教授(Professor A. Wolf)的《科学、工艺和哲学的历史》(*History of Science, Technology and Philosophy*,1934和1938)，这部著作叙述了十六、十七和十八三个世纪的情况；霍格本教授(Professor L. Hogben)的《大众数学》(*Mathematics for the Million*,1937)及《市民科学》(*Science for the Citizen*,1940)；剑桥讲演集中题为《现代科学的背景》(*The Background to Modern Science*,1938年)的一卷；普莱奇(H. T Pledge)先生的《一五〇〇年以来的科学》(*Science since* 1500, 1939)。专门讨论科学史的刊物《爱西斯》继续按期出版，成为几乎取用不竭的史料宝藏。因此，有必要对本书旧版大加修改，并增添一章来叙述近十年来的进展。结果实际上是写出了

一本新书。

朋友们又一次以他们的专门知识惠然相助，我愿对他们表示衷心、诚恳的感谢。康福德教授(Professor Cornford)审阅了原稿中讨论《古代世界的科学》的一章，并且提出许多改进意见。关于最近一个时期的新材料，向我提供意见的有下列几位：物理学方面——阿斯顿博士 (Dr Aston) 和费瑟博士 (Dr Feather)；化学方面——曼博士 (Dr Mann)；地质学方面——埃尔斯博士 (Dr Elles)；动物学方面——潘廷博士 (Dr Pantin)。有关生物化学的章节是我的女儿玛格丽特写的，有关免疫的章节是她的丈夫安德森博士写的。埃利奥特小姐不辞劳苦地辨认我的相当潦草的手稿，并且把它打印出来。我的妹妹丹皮尔小姐对索引作了必要的增补。剑桥大学出版社更本着他们一贯的好意把本书精美地排印出来。

丹皮尔

1941年8月于剑桥

第四版序

xii 在把本书第三版改为第四版的时候，《1930年到1940年》一章里所讨论的大多数问题，都分散到前面各章里去了。为了解决战时的具体问题，世界各国，尤其是英美两国，都做了一些新的工作。这种工作附带地也使科学知识有所增进。因此，我也尝试着对已经披露的比较重要的发现，作了叙述。

第三版序中所列的书目，应增添下列几种：贝里(A. J. Berry)先生的《现代化学》(*Modern Chemistry*)，汤姆森爵士(Sir George Thomson)的《原子》的第三版；安德雷德教授(Professor Andrade)的《原子和它的能量》(*The Atom and its Energy*)。

第三版发行后，值得深深哀悼的是，在某些阶段帮助我写作本书的三位友人：卢瑟福勋爵，爱丁顿爵士和秦斯爵士，先后不幸逝世。

丹皮尔

1947年1月于剑桥

绪　论

拉丁语词 *Scientia*(*Scire*,学或知) 就其最广泛的意义来说， 是学问或知识的意思。但英语词 "science" 却是 natural science (自然科学)的简称，虽然最接近的德语对应词 *Wissenschaft* 仍然包括一切有系统的学问，不但包括我们所谓的 science (科学)，而且包括历史，语言学及哲学。所以，在我们看来，科学可以说是关于自然现象的有条理的知识，可以说是对于表达自然现象的各种概念之间的关系的理性研究。

物理科学的起源可以追溯到对于肉眼可见的天体运行一类自然现象的观察，可以追溯到人们用来增进自己生活的安全和舒适的粗笨器具的发明。同样，生物科学也一定是从动植物的观察以及原始医学和外科开始的。

但是，在早期阶段，人们差不多普遍地走错了路。他们以为同类事物可以感应相生，因此就企图在交感巫术的仪式中，用模仿自然的办法，来为丰富的土壤祈得雨水、日光或肥沃。有的人不满足于这样求得的结果，就进到另一阶段，相信起精灵来了。他们以为自然界必定有种种精灵主宰，这些精灵和他们一样反复无常，但却更有力量。太阳变成了菲巴斯[1] 的火焰车，雷电成了宙斯[2] 或索尔[3] 的武器。于是，人们就用和更原始时期一样的仪式，或者是从

① 菲巴斯是希腊神话中的太阳神，即阿波罗。——译注

② 宙斯是希腊神话中的天神。——译注

③ 索尔是北欧神话中的雷神。——译注

更原始时期的仪式演变出来的仪式，来讨好这些精灵。另外一些人看到天空星辰位置不变，行星运行颇有规律，就以为一定有一个不变的命运之神在控制着人类的命运。而人类的命运是可以从天象中观察到的。巫术、占星术和宗教显然必须同科学的起源一并加以研究，虽然它们在历史上和科学的确切关系以及它们相互间的关系还不得而知。

在古代埃及和巴比伦的记录中，经验知识已经有了一些条理——如度量的单位和规则，简单的算术，年历，对天象的周期性的认识，以至对日食和月食的认识。但是，首先对这些知识加以理性考察的，首先探索其各部分之间的因果关系的，事实上也就是首先创立科学的，应该说是希腊爱奥尼亚(Ionia)的自然哲学家。这种活动中最早也最成功的活动，是把丈量土地的经验规则(大部分是从埃及传来的)变成一门演绎科学——几何学。而创始者相传是米利都的泰勒斯(Thales of Miletus)和萨摩斯的毕达哥拉斯(Pythagoras of Samos)。三百年后，亚历山大里亚的欧几里得(Euclid of Alexandria)才对古代几何学加以最后的系统化。

xiv

这些自然哲学家在物质中寻找实在，渐渐创立了关于基本元素的学说，其最高峰就是留基伯(Leucippus)和德谟克利特(Democritus)的原子论。另一方面，意大利南部的比较带有神秘色彩的毕达哥拉斯派却认为实在不在于物质，而存在于形式和数中。他们自己就发现正方形的一边和对角线没有公约数，这个发现同认为整数是存在的基本实体的观念，是很难调和起来的。但是，这种观念在各时代中还是时常复活和重新出现。

在苏格拉底和柏拉图的雅典学派兴起以后，形而上学就代替了爱奥尼亚的自然哲学。希腊人对自己的心灵的作用入了迷，于是就不再去研究自然，而把目光转向自身。他们把毕达哥拉斯派

的学说加以发展，认为只有理念或"理式"才具有充分的实在性，感官对象是不具有充分实在性的。亚里斯多德在生物学上虽然重新回到观察和实验，但是在物理学和天文学上还是紧紧遵循着他的老师柏拉图的内省方法。

亚历山大大帝东征西讨，把希腊化文明带到了东方，一个新的文化中心就在亚历山大里亚形成。在那里，同时还在西西里岛和意大利南部，有一种新的方法出现了。阿利斯塔克(Aristarchus)、阿基米得 (Archimedes) 和希帕克 (Hipparchus) 并没有去制订完备的哲学体系，而提出了一些具体的和范围有限的问题，并且用一些同现代科学方法相似的科学方法来加以解决。就连天文学也发生了变化。在埃及人和巴比伦人的心目中，宇宙是一个箱子，大地是这个箱子的底板。爱奥尼亚人以为大地是在空间中自由浮荡着的，毕达哥拉斯派则以为大地是一个圆球，围绕着中央火运行。阿利斯塔克研究了地球与日月的明确的几何学问题，以为把这个中央火看做是太阳，问题就更加简单了。他还根据他的几何学对太阳的大小，作了估计。但是，大多数人都不接受这个学说。希帕克仍然相信地球居于中心，其余各天体都按照均轮与本轮的复杂体系绕地球运行。这个体系通过托勒密(Ptolemy)的著作，一直流传到中世纪。

罗马人在军事、法律和行政方面有很大天才，在哲学方面却没有什么独创能力。在罗马还没有陷落以前，科学就已经停止发展 xv 了。在这个当儿，早期教会的教士们把基督教教义、新柏拉图主义的哲学和从东方祭仪宗教得来的要素融合起来，形成基督教义的第一次大综合。在这个综合中，柏拉图和奥古斯丁的哲学居于主导地位。在整个黑暗时代，西方人仅仅从一些提要和注释中对希腊学术略有所知，虽然从希腊人那里得到最初动力的阿拉伯学派

兴起后，自然知识也有一些增加。

到十三世纪，亚里斯多德的完整的著作被重新发现了，并且译成了拉丁语，最初是从阿拉伯语译本译过来，后来又从希腊语直接译过来。在圣托马斯·阿奎那 (St Thomas Aquinas)的经院哲学中，形成了另外一种新的综合。他把基督教义同亚里斯多德的哲学和科学融合成为一个完整的理性知识体系。这是一件很困难的任务，他却巧妙地完成了。

正如罗马法的存在使得秩序的理想在整个混乱时代和中世纪得以维持不坠一样，经院哲学也维持了理性的崇高地位，断言上帝和宇宙是人的心灵所能把握，甚至部分理解的。这样，它就为科学铺平了道路，因为科学必须假定自然是可以理解的。文艺复兴时期的人们在创立现代科学时，应该感谢经院学派作出这个假定。

不过，新的实验方法的本质，是离开完全理性的体系而诉诸无情事实的裁判——这些事实与当时可能的任何哲学综合都毫无关系。自然科学在其探讨的中间阶段，可以使用演绎推理，归纳推理也是它的方法的主要部分，但是，由于科学主要是经验性的，它归根到底不得不诉诸观察和实验；它不象中世纪的经院哲学那样凭借权威接受一种哲学体系，然后再依据这个体系来论证种种事实应该如何如何。人们有时以为中世纪的哲学和神学不是充分运用理性的，其实不然。它们的结果是运用逻辑方法从它们认为是权威的和肯定的前提中演绎出来的。这些权威的和肯定的前提就是教会所解释的圣经以及柏拉图和亚里斯多德的著作。另一方面，科学则依靠经验，它所用的方法就和填补字谜画时所用的方法一样。科学也要运用理性来解决确定的谜团问题，并形成唯一可能的有限的综合和学说；但是，观察或实验既是研究的起点，也是最后的裁判者。

在蛊惑中世纪人心的巫术、占星术和迷信(大半是异教的遗迹)的浊流中,托马斯·阿奎那所阐明的经院哲学保存了关于自然界可以理解的信仰。但是,托马斯派哲学也包含了托勒密的地球为中心的天文学和亚里斯多德的拟人观的物理学及他的许多错误见解,如运动需要不断施加力量,物之轻重在于其本质,并自寻其天然位置等等。因此,经院哲学家反对哥白尼的学说,不肯使用伽利略的望远镜,甚至当史特芬(Stevin),德·格鲁特(de Groot)和伽利略用实验加以证明之后,仍然不肯承认轻重不同的物体可以以同样的速度落向地面。 xvi

这些差异后面藏着更深刻的分歧。阿奎那及其同代人和亚里斯多德一样,以为实在的世界是可以通过感官觉察出来的:这个世界是色、声、热的世界;是美、善、真,或其反面丑、恶、假的世界。在伽利略的分析下,色、声、热化为单纯的感觉,实在的世界只不过是运动中的物质微粒而已,表面上同美、善、真或其反面毫无关系。于是,破天荒第一次出现了认识论的难题:一个非物质的、无展延的心灵何以能了解运动着的物质。

由伽利略开始的工作,至牛顿集其大成。牛顿证明:物体靠相互引力而运动的假说已足以解释太阳系中一切庄严的运动。结果,就形成了物理学上的第一次大综合,虽然牛顿自己也指出万有引力的原因仍然不得而知。不过,他的门徒们,尤其是十八世纪的法国哲学家,却忽视了他的明智的谨慎精神,把牛顿的科学变成了机械论的哲学。根据这个哲学,整个过去和未来,在理论上都是可以计算出来的,而人也就变成了一架机器。

有些头脑清晰的人认识到科学不一定能揭示实在。还有一些讲求实际的人一方面接受决定论,作为科学上便利工作的假说(事实上,这也是当时唯一可能的假说),另一方面又在日常生活中把

人看做是一个自由的、负责任的主动者，并且继续毫不受打扰地信奉他们的宗教。存在的整体是太广大了，人们在只研究它的一个方面的时候，是无法窥知它的秘密的。另一条逃避机械论的道路是康德和黑格尔的追随者们所走的道路。他们建立了一个归根结 xvii 蒂溯源于柏拉图的哲学，即德国唯心主义。这个哲学同当代的科学差不多完全脱离了关系。

虽然有这些反动思潮，牛顿的动力学仍然既加强了素朴的唯物主义，又加强了决定论的哲学。对于有逻辑头脑而不善深思的人来说，从科学推出哲学似乎是一件必然的事。这种倾向随着物理科学的每一进步而得到加强。拉瓦锡(Lavoisier)把物质不灭的证据推广而及于化学变化，道尔顿(Dalton)最后建立了原子说，而焦耳(Joule)也证明了能量守恒的原理。每一个别的分子的运动的确还是无法测定的，但是，在统计上，组成一定量物质的千万个分子的行为却是可以计算和预测的。

十九世纪下半期，有些人觉得这种机械观可以扩大运用到生物学中来。达尔文搜集了地质学上的和物种变异的种种事实，提出了自然选择的假说，使古来的进化论更加为人相信。地位仅次于天使的人类本来是从宇宙的中心地球上来俯览万物的，而今却变成了围绕着千万颗恒星之一旋转的一个偶然的小行星上面有机发展锁链中的一环。他是一个微不足道的存在物，是盲目的、不可抵抗的造化力量的玩物，这些力量和人类的愿望和幸福是毫不相干的。

生理学也开始扩大自己的研究范围，认定有生命的机体的功能可以用物理和化学的原理来解释。在有些生物学问题上，有机体必须当做一个整体来看待，这个事实是有其哲学上的重要性的。但是，科学按其本性来说，是分析性的和抽象的，它不能不尽可能

用物理学术语表述科学的知识，因为物理学是一切自然科学中最基本的和最抽象的科学。当人们发现可以用物理学术语来表述的东西愈来愈多的时候，人们也就更加信任这个方法了，结果就产生一种信念，以为对于一切存在都可以完全从物理和机械的角度加以解释，这从理论上来说是办得到的。

这就赋予某些物理学概念以极大重要性，这些物理学概念在任何时候都是所达到的最基本的概念，不过哲学家采用这些概念往往为时过晚。十九世纪的德国唯物主义者把他们的哲学放在力与物质的基础上，而当时的物理学家却认识到力只不过是质量-加速度的一个拟人观的方面，同时，物质也由德谟克利特和牛顿的具有质量的坚硬微粒上升到漩涡形的原子或以太介质中的疙瘩。光则由杨(Young)与弗雷内尔(Fresnel)的半刚性和物质性的以太中的机械波变成了麦克斯韦的某种未知物质中的电磁波——这对数学家讲来，是把问题简单化了，但是对于实验家讲来，却失掉了可理解性。 xviii

尽管有以上种种迹象，当时的大多数科学家，尤其是生物学家仍然保持着常识性的唯物主义，相信物理科学揭示了事物的实在。他们没有读过唯心主义的哲学，无论如何不会变成这种哲学的信徒。但是，在1887年，马赫(Mach)用他们熟悉的语言，重申古来的学说，认为科学只能把我们的感官所领会的现象的信息告诉我们，实在的最后性质不是我们的智力所能达到的。也有人认为虽然就科学证据所能证明的而论，我们只能走到这种现象论为止，但是，科学毕竟把自然现象合成一个前后一致的模型，这个事实却是一个有效的形而上学上的论据，可以证明有某种和模型一致的实在存在于背后。但是，各门科学都只是类似于模型据以构成的各种平面图，因此，举例来说，力学所指明的决定论就只不过是我们的处

理方法和作为这门科学的基础的各种定义的结果而已。同样，物质不灭和能量守恒一类原理也是不可避免的，因为在从一团混乱的现象中形成自然科学时，心灵为了方便的缘故，总是不知不觉地挑出那些守恒的量，围绕它们来构成自己的模型。到后来，实验家费了千辛万苦，才又重新发现它们的守恒性。

不过，十九世纪的科学家很少对哲学发生兴趣，就连对马赫的哲学也是一样。他们大半以为他们所研究的是事物的实在，而可能的科学探讨的主要轮廓已经是永远地规定好了。物理学家需要做的工作好象仅仅在于增加量度的精确程度，和发明一种容易了解的方法，来说明传光以太的性质。

同时，生物学也接受了达尔文的自然选择说，认为这可以充分解释物种起源，并且把注意力转移到其他问题上去。只是到1900年重新发现孟德尔（Mendel）的被遗忘的研究成果后，这个问题才重新提出，再用达尔文的实验方法来加以研究。虽然说明过去地质年代中进化过程的明显事实是确凿无疑的，有些人却开始怀疑自然选择是否就是新品种的充分原因，因为在今天，自然选择只是对小的变异产生作用。

xix

从1895年起，物理学中又产生一种发人深思的新情况。汤姆生（J. J. Thomson）把原子分解为更微小的质点，这些质点更分解为带电的单位，其质量被解释为仅是电磁动量的一个因子而已。“电”真仿佛可以对物理科学中的一切现象给予最后的和充分的解释了。卢瑟福从原子分裂的角度来解释放射现象，照他的想象，原子是一个带正电的原子核，周围有一些带负电的电子围绕它运行。物质不但不是密实的塞满填满的东西，反而是空疏的结构。其中的质点，即令作为解脱出来的电荷来看，其大小同空罅相比，也差不多是微不足道的。不但这样，原子分裂的统计原理也发现了。一

秒钟内一毫克镭中有多少原子爆炸，也可以算出来，虽然某一个原子的寿命何时结束，我们还无法知道。

如果光波具有电的性质的话，它们就必定是从运动中的电荷出发的，初看起来，只要新发现的电子是按照牛顿的动力学运动的，我们就可以得到一个令人满意的物质本源于电的学说。但是，如果电子围绕着原子核而运动，就象行星围绕着太阳运行一样，它们就应该放射出一切波长的辐射，能量就应该随着波长的缩短按可以计算的方式增加。但是，事实并不是这样；为了解释这个事实，普兰克(Planck)就假定辐射是按确定的单位，即量子，而射出和吸收的，每一个量子都是一定量的“作用”，这个量相当于能量乘时间。这个学说因为在它起源的领域以外的其他物理学领域中获得成功，而大大增强自己的声誉，但是，这个学说也象古典的连续波动说一样，并不能很容易地、很自然地解释光的衍射和因为光的干涉而产生的其他现象。我们在有些问题上得用古典的理论来解释，在另外一些问题又得用量子理论来解释，虽然两种理论似乎是彼此矛盾的；这样一个折衷的办法在物理学家来说是少有的，因为物理学在过去始终是一切实验科学中最彻底地没有矛盾和最能自圆其说的。

再有一个困难是，不论观察者怎样运动，所测量出的光速总是一个不变数。这个困难由爱因斯坦的相对论澄清了。爱因斯坦指出，不论空间或时间都不是绝对的量，而总是同测量的人相对而言。这个相对性原理，按其全部推论来说，不但是物理学学说方面的一场革命，而且是早先的物理学思想所包含的假定方面的一场革命。这个原理把物质和万有引力解释做是四维时空连续区中的曲率一类东西的必然结果。这个曲率甚至给空间确定了界限；光如前进不已，在亿万年后，可以回到原来的出发点。 xx

不但有质量的坚硬质点消失了，而且从哲学上我们也当会看到，把物质看做是在空间中延展、在时间上连绵不断的古来的形而上学概念，也被摧毁了，因为不论是空间还是时间，都不是绝对的，而只是想象的臆造，质点只不过是时空中的一串事件而已。相对论加强了原子物理学的结论。

玻尔(Bohr)又沿着量子论的方向把卢瑟福关于原子的看法，加以发展。玻尔假定氢原子中的单个电子只能在四个确定的轨道上运行，只有当它从一个轨道突然跳到另一个轨道上的时刻，它才能发出辐射。他就根据这个假设解释了许多事实。至少在把电子看做是一个简单质点时，这个假设和量子论一样，是同牛顿的动力学不相符合的。

由玻尔自己和他人加以详细阐释的玻尔式的原子，有一个时期，似乎是最可信赖的原子结构的模型，但是，1925年，在解释氢元素光谱中的某些比较细的谱线时，它却肯定地失败了。次年，海森堡(Heisenberg)的研究成果在物理学上揭开了新的一页。他指出，任何关于电子轨道的学说，都没有事实根据。我们研究原子时，只能观察什么进去，什么出来——辐射，电子，有时还有放射性的粒子等；至于别的时候发生什么情况，我们是不知道的。轨道是拿牛顿的动力学做类比，不知不觉地建立起的一种没有理由的假设。因此，海森堡就用微分方程式来表达他的原子结构学说，并不想给予物理学的解释。

后来，薛定谔(Schrödinger)根据德布罗意(de Broglie)的波动力学，提出一种新学说，说电子具有微粒的一部分特性，又具有波动的一部分特性。这个见解后来得到实验证据的证明。薛定谔的学说是用同海森堡的方程式相当的方程式表达出来的，所以，从数学上来说，这两种学说是完全一样的。我们无法根据海森堡的学

说构成一个物理模型，也很难根据薛定谔的学说构成一个模型。事实上，所谓测不准原理至此就出现了。这就是说，我们无法同时 xxi 〔准确〕测定一个电子的位置和速度。物理学陆续地发现过许多终极的要素，如彼此吸引的质点，原子，电子等，每一次又都要更进一步地发明一些模型，按照更基本的东西来解释这些要素。但是，"作用"量子以及测不准的微粒和微波的方程式却是心灵难以想象的一些概念。或许一种新的原子模型还会再一次顺利地建立起来，但是，也可能我们所遇到的基本的东西不是机械的术语所能表达的。

与此同时，近来的物理学的两个分支已经变得特别具有实用意义。自麦克斯韦证明电波和光波具有同样性质以来，电波的学说的范围更大了，电波的应用也更广了，到最后，我们就利用电波讯号的反射，制造出"雷达"来。卢瑟福的核型原子，加上阿斯顿(Aston)的同位元素，促成了纯科学的长足发展，并且帮助我们找到一种方法，在"原子弹"中释放核能量，我们希望今后这方面还会有和平的应用。

科学和哲学有过一段分离时期——一边是朴素的唯物主义，一边是多少有些玄妙的德国唯心主义。在这段分离时期过后，科学和哲学又重新携起手来，最先是在各种各样的进化论思想中携起手来，后来又通过更深刻的分析，靠了数学和物理学的新发展，而携起手来。近来的数学原理和逻辑学原理的研究更清楚地阐明了认识论，一种新的实在论也应运而生。这种新的实在论抛弃了历来的全面哲学体系，而只研究一些有限的哲学问题，正象科学只研究有限的科学问题一样，并且想寻找科学上的现象论下面的形而上学的实在。

在有些现代哲学家看来，科学上的决定论似乎是由于科学的

抽象方法而产生的。科学概念,即柏拉图的理念的现代翻版,只和科学的抽象推理及学说有关;科学的概念有其逻辑的推论,这些推论的确是必然的,并且是科学概念的性质所决定的。但是,科学上的决定论却是一种具体性误置的谬误,也就是把逻辑上的决定论转移到感官对象上面去了。此外,"活力论"认为,在活的物质中,物理和化学定律都由于某种更高的作用力而失效了。这个观念今天已信誉扫地了,不过,有些生理学家还是指出,生物机体的物理机能和化学机能所表现出的调协和一体性仍然是纯机械论今天所无法解释的。尽管这样,另外一些生理学家还是认为,在物理学和化学研究的每一阶段,都曾经不得不接受机械论,因此,正象薛定谔所指出的,到头来,也许会有一些目前还不得而知的新的物理和化学定律可以从根本上解释生命现象,虽然机械论到最后也可能在物理学的一条最后的测不准原理中归于破灭。目的论要想令人信服,可能必须把存在的整体考虑在内,而不能只考虑单个的机体。当我们从力学的抽象观点来考察的时候,宇宙可能完全是机械性的,但是,当我们从心灵的方面来看的时候,宇宙却仍然完全是精神性的。由星体而来的一条光线,物理学可以从它的遥远的发源地一直追寻到它对感光神经的效应,但是,当意识领悟到它的明亮、色彩和感受到它的美的时候,视觉的感觉及对美的认识肯定是存在着的,然而它们却既不是机械的,也不是物理的。

xxii

物理科学所描绘的是实在的一个分析性的方面;经验告诉我们,物理学所绘制的图表使我们能够预测,有时还能控制自然界的作用。知识的大综合是时常进行的。字谜画中的各个方块突然配合起来了;不同的孤立的概念由某一个伟大的科学家融合起来了,这时就会出现壮观的盛况——牛顿创立天体演化学,麦克斯韦把光和电统一起来,爱因斯坦把万有引力归结为空间和时间的一个

共同特性,都是这样的情况。一切迹象都说明,还会有这样一次综合。在这样一个综合中,相对论,量子论和波动力学可能会归入到某一个包罗万象的、统一的、单一的基本概念里去。

在这样一些具有历史意义的时刻,物理科学似乎是至高无上的。但是,只要我们根据现代科学哲学清晰地洞察到它的意义,我们就会知道,物理科学按照它固有的本性和基本的定义来说,只不过是一个抽象的体系,不论它有多么伟大的和不断增长的力量,它永远不可能反映存在的整体。科学可以越出自己的天然领域,对当代思想的某些别的领域以及神学家用来表示自己的信仰的某些教条,提出有益的批评。但是,要想观照生命,看到生命的整体,我们不但需要科学,而且需要伦理学、艺术和哲学;我们需要领悟一个神圣的奥秘,我们需要有同神灵一脉相通的感觉,而这就构成宗教的根本基础。

起　源

xxiii

地质记录——火石工具——冰期——旧石器时代——新石器时代——铜器时代——铁器时代——河滨人与游牧人——欧洲人种——巫术、宗教和科学

地质记录

研究地球的构造和历史的地质学家和观察人类的体质和社会特征的人类学家向我们提供了早期人的种种遗迹。科学的起源就必须到早期人的这种种遗迹中去寻找。

现在看来，地壳大概是在几十亿年前凝固形成的，最新的估计是16亿(1.6×10^9)年前。地质学家把后来的岁月分成六个时期：(1)太古代，即岩浆形成火成岩的时代；(2)元古代，这时开始出现生命；(3)中生代；(4)近生代；(5)新生代；(6)近代。这些时代的顺序可以由地层里各时期的堆积物的相对位置加以证明，但是无法确切地测定各时期的年龄。

火石工具

有些权威认为，人类手工品的遗迹最先见于近生代的堆积物中，这些堆积物或许是在100万至1000万年前形成的。这些遗物就是一些用火石和其他硬石粗糙地敲砸成的工具。最早的叫原始石器，同受到流动的土壤或水流的侵蚀作用而形成的天然物，没有多大区别。后来的一批叫做粗制石器，显然是人工制成的。

右图是一种常见的“万能”粗制石器，现在叫做手斧。有些考古学家认为，最早的工具的制成说明当时存在着称得起是人的第一批动物。但是，动物的声音变成音节分明的言语，一定是人类发展中最重要的步骤。这个步骤由于本身的性质的缘故，除了使言语成为可能的头盖骨和颚骨构造的变化外，没有留下任何别的痕迹。



火石手斧

冰期

据我们所知，相继而来的几个冰期在早期就降临欧洲。大概共有四个冰期。有人认为在东安格利亚(East Anglia)发现的工具的年代当在其中第一个冰期之前，但是，不管怎样，打制的火石 xxiv 是在冰期之间的比较温暖的间隔期中出现的。这些工具的制作方法有二：其一是，把碎片敲下来，留下中央的石核，形成一个工具，如图上的工具就是，这个方法是非洲特有的；其二是，利用敲下的石片制成工具，这个方法尤其可以在亚洲见到。欧洲是这两个方法的重叠区，因此，欧洲最初似乎是由两个不同的人种开发的。

旧石器时代

在旧石器时代的大部分时间里，手斧不断地变得更轻便，更锋利了，别的工具也更多样，更灵巧了。使用这些工具的人大概是靠猎取动物和采集可食的野生植物生活的。据我们现在所知，英

国“石核文化”人当中最早的人就是在苏塞克斯郡(Sussex)发现的辟尔唐人(Piltdown man),其次就是在肯特郡(Kent)的斯旺斯孔(Swanscombe)地方发现的头盖骨。

在最后一个冰期中,尼安德塔人(Neanderthal men)把石核方法和石片方法融合起来。后来,工具变成叶片状,接着就造出可割剥的刀口,使人们可以把兽骨刻成鱼杈之类的器械。

虽然人们早已知道用火,但是,大约就在这个时候,我们才第一次看到有意识地用火石敲石取火的痕迹。火是人类最早和最惊人的化学发现。

旧石器时代前期的文明从新生代初期起,到最后一次冰期逼近时为止,中间一定经过漫长的时间。在这一期间,文化看来有缓慢而稳步的进展。

旧石器时代中期是同所谓穆斯特文化联系着的。这种文化因为最初在法国莱埃济(Les Eyzies)附近的穆斯特(Moustier)发现而得名。创造这种文化的尼安德塔人是一种矮型的人,一般认为不是人类的直系祖先。

旧石器时代后期人,即智人,是在最后一个冰期快要结束时出现在现今法国境内的,虽然兽骨中驯鹿与牡鹿杂陈,说明当时气候仍然寒冷。就人类的进化水平来说,智人同先前的人种相比,是更高级的人种。火石石片的制作已经大有改进,并且肯定存在着制造家庭用具(如孔针)的雕骨工艺。

新石器时代

在旧石器时代的漫长时期之后,接踵而来的是文化大大提高的新石器时代。新石器时代的人似乎是从东方侵入西欧的。他们带来了埃及和美索不达米亚的文明的痕迹。他们已有家畜和栽培

的作物。他们用火石或别的硬石以及兽骨、兽角、象牙制出磨光的用具。还发现有陶器的碎片，说明他们已经在有意识地创造新的物品。这比单单改制天然物，是大大前进了一步。此外，英国石篱村就有一块指示石，标出了夏至日太阳升起的方位。这类建筑物也不仅是用于宗教用途，而且还有天文学的功用，说明他们的观测是很准确的。

在新石器时代结束之前，史前期的葬墓也时有发现；火葬只是到后来才出现，而且大半见于欧洲中部，因为那里的森林提供了充足的燃料。在新石器时代的墓穴里，时常发现石制用具，说明当时的人相信这些东西在另一个世界里对死者会有用处——相信灵魂不死。

铜器时代

在世界上有些地方，新石器时代的人还发现了铜——发现怎样熔化铜，怎样加入锡，使其坚硬，这样就进行了人类的第一次冶金试验，并由石器时代进入铜器时代。由于普遍使用金属，文化也提高了，斧、匕首及其衍生物矛和剑以及比较和平的家庭用具，都制造出来了。

铁器时代

青铜的组成成分比较稀少，因此，青铜又让位于铁。铁在土壤中是更大量存在的，制成战争武器和战车，也更为有效。因此，当人们发现怎样从铁矿提炼铁的时候，铁很快就代替了其他金属用于这些用途。随着铁器时代的到来，我们就逼近并且很快进入真正有史的时期。在这些有史时期中，通过石器、粘土、兽皮、纸草纸上的书面记录的遗迹，我们就可以拼凑出真正的历史图景。

河滨人和游牧人

拥有原始的农业和工艺的定居生活似乎是在几条大河——尼罗河,幼发拉底河和底格里斯河,印度河——的盆地首先开始的,在中国,文明大概也是在几条大河一带开始的。不过,同这些河滨人形成对照的还有游牧民的残余。他们赶着牛羊群,在草原上和有绿洲的沙漠上到处漂泊。在平时,这些游牧人的单位集团是各自独立的,各自为各自的牲畜追找食物。《旧约·创世纪》第十三章五至九节有这样一段记载:

> 与亚伯兰同行的罗特,也有牛群、羊群与帐篷。那地容不下他们,使他们不能同居。亚伯兰就对罗特说:"遍地不都在你眼前吗?请你离开我,你向左,我就向右;你向右,我就向左。"①

xxvi 在他们都保持这种孤立主义的见解和习俗的情况下,不论是文明还是科学,都是不可能的。此外,家长制氏族之间,也只有在为了一定目的——狩猎凶猛的野兽或同其他部族打仗——的时候,才彼此合作。不过,有时由于长期干旱,或者由于气候的长期性变化,没有了水草,草原或绿洲也变得无法居住,这时,游牧人便以排山倒海之势向外涌出,侵犯定居人民的土地,成为他们的残暴的征服者。我们在历史上可以看到几次这样的向外迁徙:闪族从阿拉伯半岛向外迁徙,亚述人从波斯边境向外迁徙,亚欧两洲开阔的草原上的居民向外迁徙。

在游牧人民当中,工艺不可能有很大进步,应用科学的起源是更谈不上了。但是,《旧约》不但在前几章中叙述了游牧人的生活,而且还在后几章中谈到近东和中东几个定居的王国——埃及、叙利亚、巴比伦和亚述——的传奇。这是很好的锁钥,由此就更容易

① Genesis xiii. 5—9.

理解新近发掘出来的建筑物、雕像和碑匾向我们提供的知识。这种知识有赖于两重机会——首先,这些文物要保存下来,其次还要经人发现。

欧洲的人种

在后文中,我们就要叙述几个种族的成就。因此,关于这些种族,我们还需要再说几句话。在石器时代后期以后,爱琴海各岛屿以及地中海和大西洋海滨的主要居民就是地中海种族。他们身材矮小,头部修长,皮肤暗黑。史前期文明的进步就应归功于他们。内陆的地方,尤其是山中的主要居民当时是、现今仍然是所谓阿尔派恩(Alpine)族。他们具有中等的身材,中间的肤色,宽而圆的头骨,低矮肥胖。他们是从东北方侵入欧洲的。第三个种族可以叫做北方族。他们集中在波罗的海沿岸,并且向外扩散出去,身材高大,头发灰黄,也象地中海人一样头部修长。

巫术、宗教和科学

在旧石器时代晚期,我们还在人所居住的洞穴的墙壁上发现了素描和绘画的最早的例子。其中许多都有高度的艺术价值,有一些还可以说明原始人的信仰,因为据说上面画着魔鬼和巫师。还有一些经常不断出现的雕刻,描写了丰产崇拜和丰产巫术,也可以说明原始人的信仰。

如果我们把这些信仰与希腊和拉丁作家所描写的有史时代早期的信仰比较一下,与现今世界各处未开化人民中仍可找到的信仰比较一下的话,我们就可以对这些信仰形成更明确的观念。弗雷泽爵士(Sir James Frazer)在《金枝集》(*The Golden Bough*)中搜集了大量这样的证据。有些人类学家以为,巫术一方面直接

导致宗教，另一方面又直接导致科学，但是，弗雷泽却以为，巫术、宗教和科学是按这样的先后次序出现的。还有一位人类学家里弗斯(Rivers)认为，巫术和原始宗教是从野蛮人对世界怀有的朦胧的敬畏和神秘感觉中，同时产生出来的。

除此之外，马林诺夫斯基(Malinowski)认为，原始人把可以用经验科学的观察或传说加以处理的简单现象和他们所无法理解或控制的神秘的、不可估计的变化，明确地区别开来。前者引向科学，后者导致巫术、神话和祭祀。马林诺夫斯基认为，原始宗教的起源应该到人对死亡的态度、人对复活的希望及人对伦理上的神道的信仰中去寻找。

但是，也有另一些人指出，巫术要假定自然界中是有规则的，人通过适当的行为就可以利用这些规则去控制自然界；因此，从这个观点来看，巫术是一种冒牌的自然法则体系。模仿性巫术的基础就是相信同类事物可以感应相生。原始人以许多方式表演季节循环的戏剧，以求谷物丰收、家畜兴旺。这样，就产生了祭祀，然后又产生了用来解释祭祀的教条和神话。我们还可以举出许多类似的模仿例子。另一方面，传染巫术则认为，事物一旦互相接触，便具有永久的交感联系：占有某人衣着的一片布并占有他的肉体的一部分——头发或手指——，他就处在你的掌握之下；如果你烧掉他的头发，他也会枯萎而死。

这样的巫术，有时由于巧合，好象也是灵验的，但是，失败的回数要更多一些；这时，巫师在失望的信徒面前，就有不可自保的危险。失望的信徒们很可能不再相信人可以控制自然，并且转而去讨好荒野中的捉摸不定的精灵——神或魔鬼——，希望这些精灵满足他们的要求，这样就过渡到某种形式的原始宗教。

与此同时，简单工艺的发展，火的发现和取得，工具的改进，却

通过一条不那么富于浪漫意味、然而却更加可靠的道路，奠定了科学的另一基础——或许是唯一的基础。但是，人们还需要一些更深刻的信仰来满足他们的探索不已的灵魂，因此，科学并不是在一片广阔而有益于健康的草原——愚昧的草原——上发芽成长的，而是一片有害的丛林——巫术和迷信的丛林——中发芽成长的，这片丛林一再地对知识的幼苗加以摧残，不让它成长。

第一章　古代世界的科学

1

文明的起源——巴比伦尼亚——埃及——印度——希腊和希腊人——希腊宗教和哲学的起源——古典时代的宗教和哲学——爱奥尼亚的哲学家——毕达哥拉斯学派——物质问题——原子论者——希腊医学——从原子论者到亚里斯多德——亚里斯多德——希腊化的文明——演绎的几何学——阿基米得和力学的起源——阿利斯塔克和希帕克——亚历山大里亚学派——炼金术的起源——罗马时代——学术的衰落

文明的起源

在历史的黎明期，文明首先在中国以及幼发拉底河、底格里斯河、印度河和尼罗河几条大河的流域中，从蒙昧中诞生出来。在居住在这些流域的各民族当中，我们知道得最多的是埃及的人民和巴比伦尼亚的人民，主要是靠了希腊历史学家著作中的记载。从这个来源得到的资料本来是极少的，但是，近年来，由于发现他们的许多建筑物，雕像和碑石的遗迹，由于发掘王室陵寝，得到很多家用物件、装饰品和铭文，资料来源又大大扩充了。这种资料当然是片断的，有赖双重机会，一方面要靠古代记录的保存和发现，另一方面又要靠现代研究家的正确解释；可是，这样得到的资料确也不少，而且还在源源不断地得到。

巴比伦尼亚

常识性的知识和工艺知识的规范化和标准化，应该说是实用科学的起源的最可靠的基础。这种规范化的早期征象可以在公元前二千五百年的巴比伦尼亚国王的敕令中找到。当时，他们已经认识到固定的度量衡单位的重要性，于是就用王室的权威，公布了长度、重量和容量的标准。

巴比伦尼亚的长度单位是“指”，等于1.65厘米或⅔英寸左右；一尺等于20指，一腕等于30指；一竿等于12腕，而测量者所用的单位绳则等于120腕；一里是180绳，等于6.65英里。在重量单位方面，一粟等于0.046克；一舍克(Shekel)等于8.416克；一达伦(talent)等于30.5公斤，或67$\frac{1}{3}$磅①。

在最早的有史时代，大麦似乎充当过交易的媒介。到公元前三千年，又采用了铜锭和银锭，但是，大麦仍然在流通。黄金的价值为同重的白银的六至十二倍，因时代而不同。

巴比伦的数学和工艺的要素显然是从非闪族的萨马利亚人(Sumerians)得来的。萨马利亚人在公元前2500年以前统治那个国家达一千年之久。在巴比伦人的碑石中发现过乘法表，平方表和立方表。他们采用了十二进位制，使分数易于计算，同时还采用了从我们的手指得到启示的十进位制。为了把这两种制度结合起来，他们对六十这个数目特别重视。这种双重计算法的平行应用成为重量和度量——圆周及其角度的划分，哼，尺及平方尺，达伦和蒲式耳(bushel)——的基础。

几何学的起源也说明抽象的科学起源于日常生活的需要。在土地测量的基本公式和数目里，就可以找到几何学的开端。由于

① L. J. Delaporte, *La Mésopotamie*, Paris, 1923. Eng. trans. London, 1925, p.224.

有了田地的平面图，接着也就有了比较复杂的城市平面图，甚至有了当时已知的世界的地图。但是，实际知识是和巫术观念密不可分地交织在一起的，两者也一块由巴比伦向西传布。在后来的数百年中，欧洲思想界一直迷恋于特殊数目的价值，迷恋于特殊数目与神的关系，迷恋于用几何图形来预测未来。

时间的有系统的测量在巴比伦也开始得很早。随着农业在原始人民中间的发展，认识季节也变得愈来愈重要了。大、小麦似乎是幼发拉底河一带的土产，我们知道那里很早就把大、小麦当作粮食作物栽培，因为土碑中提到过大、小麦，而巴比伦的艺术品也描写过耕犁。耕种谷类需要适应季节，又需要大量水源，因此，历法几乎是必不可少的。天文观测为什么起源于幼发拉底河和尼罗河流域，原因之一就在于此。以一天为时间的单位，是大自然使然。当需要有更长的时间单位时，首先采用的是月份，每个月份都从新月出现时算起。人们还想确定四季循环中的月份的数目。在巴比伦尼亚，这是公元前4000年左右的事，在中国，这是稍后的事。公元前2000年左右，巴比伦尼亚的一年已定为360天，或12个月，时常还加入闰月，作必要的调整。一天又分为若干小时，分，秒，还发明了简单的日规——一根直立的表杆——来标志时间。

人们对太阳和行星在恒星中间的视运动，进行了观察，并且按照太阳、月亮及五个已知的行星给一周的七天命名，使周成为又一时间单位。太阳在天空的历程被划分为十二宫，以与月份相合。每一个宫都按某一神话中的神或动物命名，并以适当的符号代表。这样，天空各区段就和羊、蟹、蝎及其他兽类联系起来，以后又把这些兽类和一定的星座联系起来，相沿至今。

巴比伦尼亚人以为宇宙是一个密封的箱子或小室，大地是它的底板。底板中央矗立着冰雪覆盖的区域，幼发拉底河就发源于

这些区域中间。大地四周有水环绕，水之外复有天山，以支撑蔚蓝色的天穹[1]。不过，有些巴比伦尼亚星象家已经认识到地球是一个球体[2]。

巴比伦的天文观测可以追溯到公元前两千多年以前。已知最早的准确记录是关于金星出没的记录。巴比伦空气清朗，从那时候起，僧侣们就夜夜观察天空的景象，并把他们的观察结果记录在土碑上。他们渐渐看出了天文现象的周期性，据公元前六世纪的一个文件说，到后来，他们已经能够事先计算出太阳和月亮的相对位置，因而也就有可能预测日、月食了[3]。这可以说是科学的天文学的起源。功劳应该属于巴比伦尼亚及它的三个学校：乌鲁克学校(Uruk)，希拔学校(Sippar)及巴比伦的波希帕学校(Borsippa)。

在这种确实的知识的基础上，一种异想天开的占星术体系建立起来了，事实上，巴比伦尼亚人竟认为它是这门基础科学的主要的和最有价值的对象[4]。他们无疑是因为最初看到一些偶然的巧合，所以到后来才相信，星宿决定了并且预示着人事的进程。靠了对天体的这种观察和解释，巴比伦的占星术士们确实可以支配人心。“这样理解的天文学不仅成为科学的女皇，而且成为世界的霸王。”每一所庙宇都设立有图书馆，收藏着天文学和占星术的文献，在那里可以学到卜筮的方术。其中有一个图书馆，有七十块土碑，公元前七世纪中颇为著名，据说其中有三千年以前的记录。

公元前540年左右，即迦勒底人 (Chaldaean) 征服巴比伦尼亚

---

① G.Maspero, *The Dawn of Civilization*, Eng.trans.5 th ed.1910.

② E.G.R.Taylor——Historical Association, Pamphlet, No.126.

③ G. Sarton, *Introduction to the History of Science*, vol. Ⅰ, Washington and Baltimore 1927, p.71, quoting from L.W.King, *A History of Babylon*, London, 1915.

④ J. C. Gregory, *Ancient Astrology*, *Nature*, vol. 153, 1944, p.512.

之后，占星术在巴比伦达到鼎盛时期。两百年以后，又传到希腊，再由希腊传到当时已知的世界。到那时，在它的发祥地，占星术已有转化为比较合乎理性的天文学的征候。不过，迦勒底的占星家仍然为人敬重和求教，毫无医药知识的巫师和驱邪赶鬼的则执行医师的职务。

现代人研究原始人类的结果，发现巫术通常是从“交感”巫术开始的。所谓交感巫术也就是说，人们为了促使一个过程实现，就现身说法，加以模拟，或表演一出戏剧，对这个过程加以描写，以求达到控制自然的目的。这类例子是举不胜举的。譬如蛙鸣则雨。野蛮人觉得他也能学蛙鸣。于是，他就扮作青蛙，学作蛙鸣，希望求得他所盼望的雨水。这样，就产生了祭祀以及对奇迹的崇拜，然后又发明了教条或神话来加以解释。因为后来由于祭祀仪式需要解释，人们就认为自然界的力量是有精灵的，而沿袭已久的巫术仪式也就原封不动地或稍加改变，成为祷告的仪式了。

后来这一类型的巫术似乎在有史料可考的最早的时代以前，就已经在巴比伦出现。虽然有些神祉，如代表人类全部知识的源泉的奥安奈斯 (Oannes)，被认为是慈善的①。但是，在巫士们看来，巴比伦的巫术说明，神祉对人类一般是仇视的。这种看法可能由于底格里斯河和幼发拉底河两岸生命没有保障，而得到加强。事实上，基于这种看法而形成的巫术就是由这种情况决定的。因为在两条大河的两岸，突如其来的暴风雨和洪水随时都可以把人畜房屋冲走，而外来敌人的入侵也是很频繁的。人类命运受制于天上星宿的观念在古代的巴比伦产生后，又引起了命运之神冷酷无情和没有人性的观念。巫术的不祥和自然界的可怕说明神祉怀有

① C. J. Gadd, *The History and Monuments of Ur*, London, 1929.

敌意，而神祇怀有敌意的观念无疑地又反过来加强了巴比伦巫术和占星术的野蛮的要素。然而，巴比伦和亚述的建筑和雕塑又说明实用工艺有很大进步，人们也有了一些生物学的知识，包括棕树和枣树的有性生殖①。

埃及

当我们转而考察远古时代的另一伟大文明——埃及文明——的时候，我们就可以看出，宗教态度是有些不同的。在埃及，神祇大半是友善的。它注视着人类，随时准备在生、死和另一个世界中指导和保护人类。

这种差别可能是由于自然环境的缘故，至少部分地是由于这个缘故。埃及的气候比迦勒底亚(Chaldaea)变化少，尼罗河定期不误地涨落，成为一切丰饶的源泉，稳定，友善，可靠，足以代表超自然的神灵。

很早的时候，埃及的文明就达到比较发达的阶段；车轮和帆船的发明便利了交通，天秤便利了称量，织布机便利了纺织；而且他们似乎还制订了确定的年历。实用工艺在第十八王朝，即公元前1500年左右，所取的成就最大。不过，当时人们还没有想到知识有长期地和缓慢地向前发展的可能性。他们似乎以为，他们的祖先若是全凭人类自身的智慧，本来是永远也不可能发明言语、文字、建筑和计算的；还需要有神的干预。他们象巴比伦人那样，把一切知识都归因于神的启示，尤其是梼特(Thot)(由白鹭和狒狒来代表)和他的盟友真理女神迈特(Maît)的启示。梼特是神话中的大帝和立法者之一，基本上是一个月神，主管测时、计日和记年。但他还

① G.Sarton, *Isis*, No.60,1934, p. 8 and No.65,1935, pp. 245,251.

是言语的掌管者，书籍的主宰者和文字的发明者。此外，他还在各庙宇中设立“守夜者”的职务，要他们世世代代记录天文事件。

在算术方面，埃及人的知识和迦勒底人处于大致一样的水平。他们按十进位法计数，用笔画挨次排列记数到十，然后用一个好象倒写的U的符号代表十，也是依次排列，以表示十，二十，三十等等。毫无疑问，土地测量技术的发展是由于尼罗河定期泛滥，淹没土地，把土地界限抹灭的缘故，虽然埃及人自己把它的起源归功于祷特的善意的干预。

看来，在很早的时候，就有一些测量家或“牵绳者”，用绳来丈量土地，并把结果记录下来。但是，最早的算术和几何学历史的文献证据是一份纸草纸，这份纸草纸藏在大英博物馆内，构成来因德珍藏品(Rhind collection)的一部分。在这份纸草纸上写书的人，是公元前一千六百年到一千八百年的一位名叫阿摩斯(Ahmôse)的僧人。据这位僧人说，上面的内容又是从公元前两千二百年以前第十二王朝一位国王时代的旧卷子上转录下来的。纸草纸上记有关于分数和普通算术四则的一些说明，乘法是用屡次相加的方法得到的。上面还记载有测量的规则①。

埃及的天文学虽然和迦勒底亚的天文学有同样的悠久历史，但却从未达到同样先进的发展阶段。迦勒底亚人重视占星术，因此，天文学的研究就得到更为有力的推动。天文学工作也许是一位生意兴隆的占星家的真正兴趣所在，但是他既然生意兴隆，必然有钱有势，这样，他大概就能得到进行天文学工作所必需的财力。连近代的刻卜勒(Kepler)也是这样的。

---

① W. W. Rouse Ball, *History of Mathematics*, 3rd ed. London and Cambridge, 1901, p.3; T.E. Peet, in *Cambridge Ancient History*, 1923—1928, vol. I, pp.216—220.

埃及人把星座和他们的神话中的神视为一体，并且在天花板上富于天文学意义的装饰中和棺材盖里面也划上这些星座。从很早的时候起,他们就把尼罗河每年一度的泛滥当作一年的开始,等到发明了精确的年历的时候,就把太阳和索特基斯星(即希腊人和我们的天狼星）同出的一天，当作一年的开始。一个恒星年共分365天,又分为36周,每周十天。每周天象的变化都记录下来[①]。

埃及人心目中的宇宙大体上和巴比伦人心目中的宇宙一样。他们以为宇宙是一个方盒,南北的长度较长，底面略呈凹形，埃及就处在凹形的中心。天是一块平坦的或穹窿形的天花板，四方有四个天柱,即山峰所支撑,星星是用链缆悬挂在天上的灯。在方盒 7 的边沿上,围着一条大河,河上有一条船载着太阳来往。尼罗河是这条河的一个支流[②]。

如果埃及在天文学方面落后于巴比伦，没有象迦勒底亚的那样有名的占星家的话，他们在医学方面的地位却恰恰相反。我们已发现有好几种重要的埃及纸草书卷,并且翻译了出来,上面载有医药论文。从埃伯斯 (Ebers) 纸草书卷和斯密斯 (Edwin Smith) 发现的纸草书卷中得来的资料最好。前一纸草书卷的年代是公元前1600年左右,后一纸草书卷的年代是公元前 2000 年左右[③]。不管他是一个神话人物,还是真实的人,最早留下名字的医生要算是伊安荷特普(I-am-hotep, 或 Imhotep)，意思是“平安莅临者”。他后来被人奉为医神[④]。巴比伦没有理性医学学派：凡是疾病都被

① L. S. Bull, "An Ancient Egyptian Astronomical Ceiling Decoration", *Bulletin Metro. Museum of Art, U.S.A.* vol. XVIII, 1923, p.283; abstract in *Isis*, No.22, 1925, p.262.

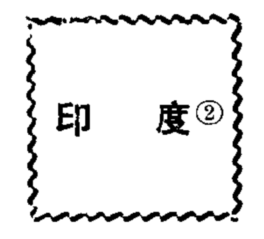
② Maspero, *loc. cit.*

③ J.H. Breasted's edition, Univ. of Chicago, 1930.

④ C.Singer, *A Short History of Medicine*, Oxford, 1928.

认是恶魔作祟，因此，除巫术和厌禳外，没有其它治疗法。埃及人也使用咒语来治疗，但是他们的医学比较合乎理性，而且高度专门化。他们有用香料保存尸体的风俗，因此，不能不懂一些粗浅的解剖学知识，虽然他们好象只知道人体的一些比较大的器官，而且对这些器官的官能的看法也是完全错误的①。虽然如此，外科毕竟是有了一个开端，在公元前2500年左右的雕塑中，我们也可以找到埃及外科医生施行手术的证据。当时有僧侣学校训练出的医生，有治疗骨折的接骨郎中，有医治埃及经常流行的眼病的眼科医生。精神疾患似乎只好交给巫师去治疗。据说，靠了符箓和咒语，他们就可以把造成这些疾病的邪魔赶走。配制药物和香料的技术达到高度完美的状态，许多埃及药品当时都闻名全世界。埃及医学后来传到希腊，或许是经过克里特岛传去的，接着又由希腊和亚历山大里亚传到西欧。

埃及人的寝墓绘画上红色的埃及人，黄色的闪族人，黑色的黑人和白色的利比亚人。这说明他们对不同的人种发生兴趣。这是研究人类学的早期尝试。



在公元前三世纪之初，印度河流域的摩亨约·达罗（Mohenjo-daro），哈拉帕（Harappa）和其他地方已经存在有文化，我们还发现一条尺子，

---

① Peet, *loc. cit.*

② 本书初版这一节开始时，曾经写过这样一段话："因为古代科学发达于中国的主张，还知道的很少，我们需要考虑的古代国家，只有印度了。"本书原译者任鸿隽先生曾写了一段按语说："西方历史家言及世界文明的起始，往往略东方文明不言。此固由于东西两大文明起始之时本来各不相涉，同时亦因东方历史为西方人士所了解者甚少故也。"近些年来，李约瑟（Joseph Needham，1900—）的著作*Science and Civilization in China*（《中国科学技术史》）出版以后，可以稍补这一缺陷。——译注

说明当时已经采用十进位制①。在亚历山大的时代以前很久的科学活动的细节，已经很难查考②。不过，在伦理哲学方面，释迦(Buddha，公元前 560—480年) 的名子当然是尽人皆知的，而且在那个很早的年代，就已经有医学学校了。据传说，在释迦的时代，就有一位内科医师阿特里雅 (Atreya) 在加息 (Kasi) 或贝纳勒斯 (Benares) 授徒，还有一位外科医师苏士鲁塔 (Susruta) 在塔克萨息拉 (Taksasila) 即咀义始罗 (Taxila) 授徒③。无论如何，后者的著作似乎是有历史证据的，因为有一个梵文本流传下来了。虽然这个梵文本的年代是无法确定的，但出入也不超过一百年。书中描写了一些手术，如割治白内障、疝气的手术；还有一些关于解剖、生理、病理的论述，并且记下了七百余种药草。阿特里雅的英名由克什米尔(Cashmir)的卡拉克(Caraka) 保存下来。他在公元150 年前后，写出一部阿特里雅医学体系的纲要。这部书由他的门徒阿格尼吠沙(Agnivesa)传了下来。

由于年代无法确定，我们很难说印度医学和希腊医学哪一个历史更悠久些，也很难查考两者互相的影响孰大孰小。

印度对其他科学贡献贫乏，或许部分地是由于印度宗教的缘故。释迦把他的体系建立在博爱、知识和尊重理性和真理的基础上；这些教义虽然可能有利于科学，却被他的哲学的其他要素所中和。他的哲学强调人生的无常和空虚，断定只有毁灭自我和丧失个性，才能达到精神上的圆满。这种不注意周围环境的心理态度往往足以遏制改进物质生活的愿望，而改进物质生活的愿望却往往是实用的科学知识进步的推动力。但是，仁慈的医术同佛教是

① G. Sarton, *Isis*, No.70, 1936, p.323, quoting Sir John Marshall. London, 1931.

② J.Burnet, *Greek Philosophy*, pt. Ⅰ, London, 1914, p. 9.

③ G.Sarton, *loc.cit.* p.76 (quoting Hoernlé and others).

一致的，或许正是由于这个缘故，阿特里雅和苏士鲁塔的著作及其中包括的内外科知识，才保存下来。

印度的佛教哲学在一个地方接触到一个肯定属于科学领域的问题。它提出了一种原始的原子说。这个原子说要么是独立发明的，要么是从希腊思想得来的。而且在公元前一、二世纪左右，就把间断性观念推广到时间中去。“按照这个学说，凡物都只在一个瞬间存在，在第二个瞬间就由自身的复写本所取代，与电影摄影机所放映的景象非常相似。事物只不过是一系列这样的短暂的存在而已。在这里，时间也仿佛被分解为原子”①。创立这个学说显然是为了用一种连续创造的过程来解释关于事物永恒变化的假定。

印度的算术是惊人的，因为有证据说明，早在公元前三世纪，印度就采用了一种数码。而我们今天的数码就是由那种数码脱胎而来的。

很可能，印度的思想影响了小亚细亚的各学派，又通过它们影响了希腊的各学派；可以肯定，后来，在阿拉伯人统治东地中海各地的期间，印度数学和医学的痕迹就和得自希腊和罗马的学术混合起来，然后取道西班牙和君士坦丁堡，重新进入西欧各学派中。这可以说明，为什么在印度数码代替笨拙的罗马数码以后，人们会把这种数码的发祥地忘得一干二净，反而称之为阿拉伯数字。

希腊和希腊人

古代世界的各条知识之流都在希腊汇合起来，并且在那里由欧洲的首先摆脱蒙昧状态的种族所产生的惊人的天才加以过滤和澄清，然后再导入更加有成果的新的途径。

① Hasting's *Encyclopaedia of Religion and Ethics*; Art. Atomic Theory, Indian; H.Jacobi.

希腊人的自然哲学提出了许多后来才由科学加以处理的问题，并且提出了许多解决办法。要了解这个自然哲学的起源，我们必须简短地谈谈希腊的人民，他们的宗教，以及他们的生活的自然和社会环境。

爱琴海中和爱琴海一带的最早的文明似乎是从克里特岛开始的。在那里，埃文斯爵士(Sir Arthur Evans)所发现的克诺萨斯(Knossos)废墟，很可能就是这个文明的中心。克里特岛受到了埃及的影响，转过来又影响了迈锡尼(Mycenae)。从克诺萨斯和迈锡尼毁灭，到荷马时代的比较粗糙的新文化开始，中间经过几百年时间。有证据说明中间发生过一次巨大的社会动乱。

里奇韦爵士(Sir William Ridgeway)等考古学家和哈登博士(Dr Haddon)等人类学家认为，荷马(Homer)笔下的阿卡亚人(Achaeans)是一个征服者部族，属于从北方、或许是从多瑙河流域来的一个身材高大的、头发秀美的种族[①]。哈登说："这个种族历史上最早的迁移就是阿卡亚人的迁徙。他们在公元前1450年左右，用他们的铁制的武器，征服了使用青铜器的希腊居民。"

不过，尽管有清晰的迹象，还有这一权威的支持，有些古典学者还是指出，希腊文学中并没有任何从北方迁来的传说[②]，希罗多德(Herodotus)也把阿卡亚人列在希腊的土著居民之列。但是，同说明阿卡亚人起源于北方的积极迹象比起来，这些证据是没有多大价值的，因为它们大半是消极性的。 10

荷马写作的时代大概在公元前九世纪。他给阿卡亚人的肤色安上了白皙或褐黄一类形容词；地中海人死后都实行土葬；但是荷

① Sir William Ridgeway, *The Early Age of Greece*, 1901; A.C. Haddon, *The Wanderings of Peoples*, Cambridge, 1911, p.41.

② J.B. Bury, in *Cambridge Ancient History*, vol. I, p.474.

马笔下的英雄却用火葬；他们使用铁器，而较早的希腊人民却使用青铜器；古典神话中奥林匹斯山上的神是在荷马和希西阿德(Hesiod)的作品中才第一次登上舞台的。

阿卡亚人又被多利亚人 (Dorians) 推翻。多利亚人在公元前十二或十一世纪侵入伯罗奔尼撒(Peloponnese)。有证据说明他们也是从北方南下的。这是有史以前的最后一次入侵。

这样说来，希腊的居民原是混合的种族，不过，在多利亚人定居下来以后，他们就形成了统一的观念，形成了在一个共同的希腊具有共同的民族文化的观念，虽然各城市和各国家还保有地方主义。种族的不同大概就是某些国家中统治阶级和奴隶阶级的差别的基础，别的奴隶则是东方或北方的蛮族的后裔。

在歌颂征服者种族的英雄们的荷马诗篇中，我们可以找到一种乐天的精神，说明他们已经取缔了原始巫术的专制，同具有充分人格的神保持着友好关系。荷马的诗篇朴素而自然地把这些神描写成超人的男女，始终对人类感到兴趣，有强烈的党同伐异之见，参加了这个民族的生活、战争、苦难和胜利。象在埃及一样，我们还发现，艺术和科学的发明被归功于神和半神。这些神和半神总是随时在人们中间出现，帮助他们建筑城市，留下英雄的儿子开基立国，并且靠计谋战败那些在幕后隐隐作怪的古来的黑暗势力。

早在公元前六世纪，科洛封 (Colophon) 的哲理诗人色诺芬尼(Xenophanes)就认识到，不管上帝是不是真的按照自己的形象造人，人却肯定是按照自己的形象造神的。从古希腊神话的神身上，我们得到一种从别处得不到的对于希腊人的气质的认识。我们可以看到这个种族虽然也虚伪、自负，或许还放荡不羁，但是却有美的感觉，生活乐天，对人热情，充分表现出他们是一个勇敢善战，生气勃勃，胸怀坦白的战胜的民族；这个民族具有异常聪颖的禀赋，

生长在风光明丽的国土中，这里有酒浆般深暗的海水，把全世界的商品和知识带到他们门口，气候对他们的堡垒式的家屋也非常适宜，还有大量奴隶使生活优裕，有闲暇来发展最高度的哲学、文学和艺术[1]。

希腊宗教和哲学的起源

不多年以前，希腊宗教还是指文学中所见的神话，也没有人认真地去研究希腊的宗教仪式。但是现在，人类学家已经证明宗教仪式十分重要，比信仰具有更根本的意义，因此，我们已经看出通过文学进行考察的方法有把人引入迷途的危险。"要科学地了解希腊宗教，第一个基本步骤是仔细考察它的仪式……荷马笔下的奥林匹斯山上的神并不比他的六音步诗体更为原始。在这一美丽的表面之下，还有宗教观念、罪恶观念、涤罪观念和赎罪观念的暗流。这一暗流遭到了荷马的忽视或压制，但是在以后的诗人，尤其是埃斯库罗斯(Aeschylus)的作品中，又重新出现了。"[2]

古典时代的希腊人自己也认识到有两种仪式，即奥林匹斯仪式和叟尼克(Chthonic)仪式，而且还出现了两种神话。在奥林匹斯山上的友善的神下面，还有一个精灵居住的下界。这些精灵对人的意图即令不是敌对的，也是可疑的。在这下面，又有一些仪式和信仰的残余，也就是更原始的巫术体系的残余。这些更原始的巫术体系是由于把自然界的生活和部族生活混淆起来而自发地产生出来的，因而比任何教条性的神话都更加具有根本意义。在这里，我们大概可以看到对人民群众仍然具有吸引力的那种原始的

① See for instance, G.Lowes Dickinson, *The Greek View of Life*, 1896.

② Jane E. Harrison, *Prolegomena to the Study of Greek Religion*, Cambridge, 1903(3rd ed.1922).

宗教观及其传统仪式的影响。这种传统仪式的目的就是要通过涤罪，抚慰鬼怪和讨好神或魔鬼来求得丰产① 。

公元前六世纪的寥寥无几的一点记录说明当时有两种原始祭仪流行，即爱留西斯(Eleusinian)秘密祭仪和奥菲 (Orphic) 秘密祭仪。从这种黑暗的背景中出现的一方面有奥林匹斯神话，一方面有早期的哲学和科学。

12 爱留西斯祭仪显然是想通过巫术仪式来求得土地的丰产和居民的兴旺。这种巫术仪式描写了秋天的耕种和春天的新生和成长。仪式是秘密的，其性质只能从著作家们偶然的记载(这些著作家们常常持敌对态度)及荷马的《地神颂》(*Hymn to Demeter*)一类来源加以推测。荷马在《地神颂》中把灵魂不灭的希望同这种秘密祭仪联系起来。

希罗多德认为奥菲教义是从埃及传来的。奥菲教义里包括有通常的神秘仪式，目的是通过庆祝每年一度的生死循环，来促进丰产。它有一个天体演化学说，说宇宙未开辟之前是一个混沌的长夜，有一个世界之卵从这个长夜中出现，并分为天和地，代表生命的父与母。在天地之间，有一个有翅的光明神飞动，有时又叫做伊罗斯(Eros)，和宇宙父母会合在一起。宇宙父母缔婚后，就生出了天神的儿子，即戴昂奈萨斯(Dionysus)，或宙斯。靠了这种象征主义，当代的神秘主义就和灵魂世界 (the Unseen) 结合起来。奥菲教义的比较高尚的观念后来渗入到希腊唯心主义哲学里去，又通过希腊唯心主义哲学渗入到基督教中来，奥菲教义的比较低级的观念就变成了一切无知的迷信，并且加强了这种迷信，达数百年之

① See for example, *Cambridge Ancient History*, W.R. Halliday, vol. Ⅱ, p.602, and F.M. Cornford, vol. Ⅳ, p.522.

久。

从这一团原始的观念中，产生了在来源和倾向上都有所不同的两条哲学思想潮流——即小亚细亚的爱奥尼亚理性主义的自然哲学和意大利南部的神秘的毕达哥拉斯派的学说。现在我们要叙述一下这两个思潮的关系以及它们同祭仪宗教和奥林匹斯神话的关系。

古典时代的宗教和哲学①

当神话从巫术和仪式中形成起来的时候，希腊宗教的主要机能象许多别的宗教的主要机能一样，就是要用可以理解的方式来解释自然及其过程——使人类在世界上感觉安适。这个神话所包含的万物有灵论的观念具有异乎寻常的美和见识。每一个水泉都有一个仙女，每一座森林都有一个山精。生产谷物的土地的化身是第米特（Demeter，地神），无法驾御的大海的化身是波西顿（Poseidon，海神），即大地的摇撼者。

一代复一代，这些神在数目上增加了，得到了更加清晰的刻划，新的属性被加在他们身上，而且每一个名字下都围绕着一串故事。我们可以看到一个连续不断的演变过程。每一个诗人都可以取一个神话加以改造，使之适合自己的目的，都可以介绍一个重新发现的传奇，都可以编造一个新的寓言，或者随意加以新的解释。13
随着时间的推移和理智控制感情，人们就觉得希望有一个更高级

① 提要可看 F. M. Cornford, in *Cambridge Ancient History*, vols. Ⅳ and Ⅵ; references in Sarton, *locs. cit.* 为详细可看 Ed. Zeller, *History of Greek Philosophy*, Eng. trans. 1881, T. Gomperz, *Griechische Denker*, Leipzig, 1896, Eng. trans. London, 1901 and J. Burnet, *loc. cit.*, and *Early Greek Philosophy*, London 1892 and 1908.

的信仰，最后，埃斯库罗斯(Aeschylus)，索福克勒斯(Sophocles)和柏拉图就从先前的粗糙的多神教中创造出一个单一的、至高无上的、正义的宙斯来。这一切都是由那些想要保存、净化和光大古老的信仰的人们，自然而然加以实现的，根本没有标新立异的想法。与此同时，哲学观点也发生了变化，因为人们已经不再认为反复无常的事件决定于不负责的天神的偶然意志了，他们开始认为在神圣的和普遍的法则之下，天律是不变的。

与这种保守的宗教演变过程同时，还有一种怀疑论的批评在进行。奥林匹斯的宗教带有露骨的神人同形同性论色彩，象这样一种宗教与其说是诉诸理智，不如说是诉诸想象力。当日益增长的怀疑开始更加公开地表现出来的时候，这种宗教在哲学方面的弱点也就明朗化了。但是，奥林匹斯神话的衰颓却引起了先前的巫术仪式的复兴和新崇拜的侵入。到这个时候，对戴昂奈萨斯的崇拜本质上就是对热情的崇拜。这种崇拜通过肉体上的迷醉和精神上的狂喜又引向和神合为一体。在这上面，奥菲教义已添上了禁欲主义，并把粗糙的交感巫术中的入教和通神的原始仪式提高到具有精神价值的地步。

奥林匹斯正统宗教的这一弱点，加上希腊世界学术观点的基本自由，就促成了一种自然哲学和形而上学的哲学，这种哲学甚至从很早的时代起，就几乎没有受到神学的先入之见的束缚。

一千八百年后，经过黑暗时代的混乱局面，在中古时代经院哲学把哲学和神学加以综合、对知识加以改造以后，现代科学的先驱者曾经不得不在一套自圆其说的知识体系的束缚性条件下进行工作。这套知识体系包括有流行的神学教条和重见天日的亚里斯多德的哲学。这个体系支配着一切人的思想，并且对物理学和生物学问题以及形而上学问题和宗教问题，都给予不容提出异议的解

释。文艺复兴以后，哲学和自然科学进行了一场艰苦的争自由的斗争，才摧毁了经院哲学。

但是，在希腊自然哲学的成长过程中，环境却有所不同。的确，表面上的障碍也是存在着；普通人民信神之心极其虔诚；阿那克萨哥拉(Anaxagoras)就因为是无神论者而被赶出雅典，同样的罪名也是苏格拉底的罪状之一，虽然他反对阿那克萨哥拉的见解，事实上是领导了一次宗教复兴。阿里斯托芬(Aristophanes)也对当代流行的物理学思想加以尖刻无比的嘲笑，因为这种思想被认为具有无神论倾向。不过，希腊宗教毕竟富于流动性，它的变化不已的神话是丰富多彩的，它既能适应诗意美和艺术美的需要，又随时可以吸收和装饰新的观念，因此，学术观点就具有了一种中古时代的意识所没有的自由和开朗的精神。

14

当希腊各城邦发展起来，越出先前的界限的时候，希腊的地理位置和经济需要就迫使希腊人民同更古老的文明发生接触。早期希腊哲学家所搜集的事实大部分是从外来的来源得到的——他们的天文学是从巴比伦尼亚得来的，他们的医学和几何学是从埃及得来的，可能一部分是通过克里特岛。在这些事实之上，他们又加上一些事实，然后，在历史上破天荒第一次对它们加以理性的哲学考察[①]。这种观念的混合过程是逐渐向西推移的。效果最初是在爱琴海的爱奥尼亚海岸出现的。当时，希腊人大概还保持着过去的米诺斯文化(Minoan civilization)的传统，并且同巴比伦和埃及的学术保持着接触，因而对演绎几何学和自然界的系统研究提出一些见解。希腊的哲学发展(与其说属于科学范围不如说属于

① W. Whewell, *History of the Inductive Sciences*, vol. I, 3rd ed. London, 1857, p.25, and J.Burnet, *Early Greek Philosophy*, Introduction.

形而上学范围)的高潮，是公元前350年左右，在柏拉图和亚里斯多德的领导下，在雅典和内地各城市达到的。它的影响传布到希腊在意大利南部和西西里岛上的各个殖民地。在那里，一世纪以后，靠了阿基米得的数学天才和实用的天才，希腊的物理科学又达到它的最高成就。然后，它的影响又向东传到亚历山大里亚这一新城市去了。

爱奥尼亚的哲学家

首先明确地摆脱神话传统的欧洲思想学派就是小亚细亚的爱奥尼亚自然哲学家学派。在这个学派当中，米利都的泰勒斯（Thales of Miletus，公元前 580 年左右）是我们所知道的最早的一位。他是一个商人、政治家、工程师、数学家兼天文学家。这个米利都哲学学派的重要性在于，它第一个假定整个宇宙是自然的，从可能性上来说，是普通知识和理性的探讨所可以解释的。这样，神话所形成的超自然的鬼神就真的消灭了[①]。他们形成了一个变化的循环的观念。这个循环就是从空气、土、水，经过动植物的身体，复归于空气、土、水。泰勒斯注意到动植物的食物都带湿气，因而重新提出古来的理论，说水或湿气是万物的本质。这一基本元素说适足鼓励哲学上的怀疑论；因为，如果木和铁在本质上和水一样的话，那么，感官的证据就必然是不可靠的。

泰勒斯的传说中的事迹是由亚里斯多德和普卢塔克（Plutarch）传下来的。据说，泰勒斯访问过埃及，并且根据土地测量的经验规则创立了演绎几何学。以后，几何学就沿着他的方向由其他人加以发展，最后由欧几里得加以系统化。据说，他还预言过一

① F. M. Cornford, *Before and after Socrates*, Cambridge, 1932.

次日食，不是公元前610年的日食，就是公元前585年的日食，大概是利用巴比伦的历表测算的。他向人们说，大地是一个浮在水面上的扁平的盘子。

泰勒斯之后的阿那克西曼德（Anaximander，公元前610—545年）①似乎是把已知的世界绘成地图的第一个希腊人。他也首先认识到天空是围绕着北极星旋转的，因此，他得出结论说，天空的可见的穹窿是一个完整的球体的一半，地球就处在这个球体的中心。在泰勒斯和阿那克西曼德提出这一新学说之前，人们一直以为大地是一块无限厚的基础坚实的地板。现在，阿那克西曼德把它说成是一个有限的扁平圆筒，最初由水、空气和火的外衣包围着，浮游在天球之中。他认为太阳与星星就是从原来的火焰炽烈的外衣中分出的碎片，系在圆形诸天之上，并且随着圆形诸天绕地球而转动，地球则是万物的中心。太阳在夜间就转到地下面去了，并不象旧说所设想的那样，是围绕着世界的边沿通过的。

阿那克西曼德的天体演化学说以为，世界是由于混沌未分的原质中的对立面分裂而产生的，从而追溯到每天在自然界起作用的普通力量的活动的开端。这就进一步提出了一个理性的机械论的哲学。

在实用技术领域中，我们从传说中知道有几个朦胧的人物，例如：阿拉卡雪斯（Anacharsis，公元前592年左右）——据说他发明了陶工用的转车；格劳卡斯（Glaucus，公元前550年左右）——他是第一个学会焊铁的人；提奥多劳斯（Theodorus，公元前530年左右）——他发明了水准器、车床和三角规②。据说，阿克那西曼德还从巴比伦输入了日晷或指时针。这是一根直立在地平线上的木杆，

① Sir Thos. Heath, *Greek Astronomy*, London, 1932.

② G.Sarton, *History of Science*, vol. I, Baltimore, 1927, p.75.

可以当做日规用，也可以用来测定子午线和一年中正午时分太阳高度最高的一天。但是，由于大量使用奴隶，发明机器的动力是不大的。

在有机界，阿那克西曼德认为最早的动物是从海泥里产生出来的，人是从鱼腹里产生出来的。他认为，本原物质是永恒的，但是，万物，包括天体在内，都注定要归于毁灭，复返于原来未分的宇宙混沌状态。

阿那克西米尼(Anaximenes，卒于公元前526年左右)离开奥菲神秘主义更远一些。他以为，世界的本原物质或元素是空气，空气再稀薄一点就变成火，凝缩时，先变为水，次变为土。大地和行星都浮游于空气中；月亮由于反射太阳的光线而发光。

毕达哥拉斯学派

同爱奥尼亚哲学家的自圆其说的倾向相反，毕达哥拉斯(生于塞莫斯，但在公元前530年左右移居意大利南部)及其追随者却表现了一种直接从奥菲教义得来的神秘态度，同时也很愿意进行观察和实验。赫拉克利特(Heraclitus)说：“毕达哥拉斯进行过的研究和探讨，比所有其他的人都多，他靠博学和粗劣的技术形成他的智慧。”

毕达哥拉斯和他的学派放弃了单一元素的观念。他们以为物质是由土、水、气、火四者组成，而这四者又由冷、热、湿、燥四种基本物性两两组合而成，例如水是冷与湿的组合，火是热与燥的组合。他们推进了几何学这一演绎科学，并且按照逻辑顺序建立了某种体系，同欧几里得几何学前两册相仿。欧几里得几何学第一册的第四十七命题现在还称为毕达哥拉斯定理。划直角的“绳则”也许早已在埃及和印度凭经验发现了，但是，很可能到毕达哥拉

斯，才第一次用演绎的方法证明直角三角形斜边的平方等于他两边平方之和。

最早把数的抽象观念提高到突出地位的也是毕达哥拉斯派。我们今天都很熟悉数的观念，我们习惯于同抽象的三或五打交道，不管手指也好，苹果也好，或日子也好；因此，我们难于认识到当人们第一次看出几组不同事物的本质属性五的时候，这在实用数学和哲学方面是怎样一个巨大的进步。在实用数学方面，这个发现使算术成为可能；在哲学方面，这个发现促使人们相信数是实在世界的基础。亚里斯多德说："毕达哥拉斯派似乎认为数就是存在由之构成的原则，可以说，就是存在由之构成的物质。"这种把确定 17 的、不可分割的单位看做是基本实体的观念，同毕达哥拉斯派另一伟大发现，即有一些量没有公约数的发现（参看第十二章），似乎是不相符合的，但是，毕达哥拉斯派用声音进行的实验又大大加强了这种观念。毕达哥拉斯派证明，用三条弦发出某一个乐音以及它的第五度音和它的第八度音时，这三条弦的长度之比为6∶4∶3。他们企图在这种比例数体系基础上，来建立关于宇宙的理论。他们认为这些成比例的数就代表不可分割的空间单位。他们还认为，各行星与地球的距离一定符合于音乐的进行，从而奏出"天体的音乐"。十是完美的数字（因为$10=1+2+3+4$），因此，天上的运动的发光体必然也有十个。但是，由于只可以看见九个，他们就断言必定还有一个看不见的"对地星"。后来，亚里斯多德就十分正确地批评过这种抹杀事实的戏法。

不过，毕达哥拉斯派在天体演化学说方面的确取得很大的进步。在这方面，我们的材料主要是从在五世纪中叶写作的菲洛劳斯(Philolaus)的著作中得来的。他们承认地球是一个球体，并且终于认识到，如果假定地球在运动，就可以解释、而且可以更简单

地解释天体的视运动。他们认为地球在转动，但并不是绕着自己的轴心转动，而是绕着空间中固定的一点转动，与“对地星”相平衡，正象系于绳的一端的石块一样转动；因此，地球要把有人居住的表面顺次呈现于周围的天空的每一部分面前。在这个固定点上有一个中央火，这是宇宙的祭坛，是人永远也看不见的。这一观念后来使人误以为毕达哥拉斯派已经创立了太阳中心的宇宙说，从而走在阿利斯塔克和哥白尼前面。

从他们关于数的理论中可以清楚看出的神秘的自然观，也表现在毕达哥拉斯关于对立的原则——爱与憎，善与恶，光明与黑暗——的根本重要性的看法上。这个看法常常在希腊思想中出现。这个看法以为有关事物的事实可以从词的意义中推出来。这个神秘的观点还出现在阿尔克莽（Alcmaeon）医生的著作里。他以为，人是一个小宇宙，是大宇宙的缩影；人体是世界构造的反映，人的灵魂是数的和谐。毕达哥拉斯学派持有一种形式哲学，而爱奥尼亚派则持有一种物质哲学。五世纪初，这个学派就分裂了；一派变成一个宗教性的兄弟会，另一派循着准科学的途径提出了关于数的理论。

毕达哥拉斯派哲学的本质，包括终极的实在应该到数及其关系中去寻找的理论，将在本书叙述柏拉图的理念理论到新柏拉图主义者和圣奥古斯丁的章节中再加论述。在圣奥古斯丁的影响下，这个学派的哲学帮助形成了中古时代思想的柏拉图主义背景，即导源于亚里斯多德的经院哲学体系以外的另一哲学体系。就是在经院哲学中，毕达哥拉斯派关于几何学、算术、音乐和天文学中的数的秩序的观念，也使得这四种学科成为中古时代的课程。文艺复兴以后，哥白尼和刻卜勒再次提出关于数的重要性的见解。他们所强调的主要是太阳中心说的数学上的和谐和简单性，认为这

就是太阳中心说所以是真理的最好证据[①]。在我们的时代，阿斯顿(Aston)的原子整量说，莫斯利(Moseley)的原子序数说，普兰克的量子说以及爱因斯坦关于万有引力等物理事实不过是局部的时空特性的表现的说法，都是毕达哥拉斯派哲学的一些见解的复活，只不过在毕达哥拉斯派的哲学中，这些见解比较古老、比较粗糙而已[②]。

物质问题

如果天文现象比较显著，因而首先引起人们的注意的话，物质本性问题也同样地要求有思考力的人们加以解释。化学的起源应该到和人类一样历史悠久的技术，尤其是火的发现和使用中去寻找。烹饪、葡萄汁的发酵，金属的冶炼，石器的制造，都是史前期的成就。埃及人在染色，淬铁，玻璃和珐琅制造，以及用金属化合物来制造染媒，颜料，脂粉等技术方面，都相当高明，早在公元前1500年，泰尔(Tyre)的人民已经能用介贝制造有名的泰尔紫色颜料。

象在几何学中一样，在物质问题上，首先提出理论的似乎也是希腊人。他们认为机械技术是低贱的。他们对于机械技术中所必然包含的大量知识，不加理会，而只在每一个希腊上等人可以看出的问题上进行推理。我们知道，爱奥尼亚的哲学家以为物质的变化是从土与水开始，经过动植物的躯干和枝茎，再回到土与水。他们开始认识到物质不灭的观念。从泰勒斯起，尽管物体在表面上

① E.A.Burtt, *Metaphysical Foundations of Modern Science*, London and New York,1925, pp. 23, 44. 应看本书第三章。

② A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927, p.36.

有明显的差别，他们仍然推想到可能有单一的“元素”，即水、空气或火，是万物的共同基础。

19 公元前五世纪初，哲学界展开了争论，双方都对爱奥尼亚人和毕达哥拉斯派加以抨击。参加争论的人都表现了希腊人的一个特色，那就是喜欢根据第一原则来建立理论，并且就现象提出一些武断的判断。

诗人兼哲学家赫拉克利特(Heraclitus，公元前502年左右)对阿那克西曼德和阿那克西米尼的唯物主义的倾向，表示轻蔑。在他看来，以太火才是基本元素或实在，这是一种灵魂材料，一切都用它造成，也都要回到它那里去。在这个世界中，对立面——如睡与醒，死与生——不断的交替就构成了这个永不熄灭的火的永不停止的节奏。万物都在有秩序地运动，一切都处在流动——πάντα ῥεῖ——的状态中。真理只能在内心中找到，它是普遍的逻各斯(Logos)或理性的反映。

意大利南部埃利亚的哲学家也先验地(*a priori*)达到了另一类型的批判哲学。他们的领袖是活跃于公元前480年左右的巴门尼德(Parmenides)。

巴门尼德为人的心灵的活动所迷，把希腊人所特有的一项假定推到极端。这个假定就是，凡不能设想的就都是不可能的，即令感官告诉我们它的确发生了。他的论证是这样的：创造是不可能的，因为不可能设想可以从无中产生有，可以由非存在中产生存在，事实上，就不可能有非存在这种东西。反过来说，毁灭也是不可能的，因为有不可能化为无。连变化也是不可能的，因为一物不可能从本质上和它不同的另一物中产生。这样，我们在自然界看见的或自以为看见的变化的假象，多样性和多重性的假象，时间和空间的假象，都不过是感官的错误印象，而由思维证明是自相矛盾的。

因此，感官不能发现真理，只有思维才能发现真理。感官知觉是非实在的，是非存在；只有思维才是实在的，是真存在。换句话说，要接触到实在，我们必须除去一切形体上的差异，只留下一个单一的、划一的本质。这才是唯一的实在，这个实在是永恒的和不变化的，只受自身的限制，而又均匀地延伸，因而是球形的。在肉眼可见的现象界，非实在的、但仍为人观察到的宇宙是一连串由火与土组成的同心壳；虽然这一切只是"意见"，而不一定是"真理"。

这些见解当中的一部分见解由埃利亚的芝诺 (Zeno) 加以发挥。芝诺和巴门尼德同时代，但比较年轻。他反对毕达哥拉斯派关于万物都由整数组成的理论，并且认为他已经用他的一连串著名的疑难问题证明，倍数性是不足为训的。一个倍数必然能分割到无穷，因此，自身必须是无穷的，但是，在还原的时候，不论有多少无穷小的部分都不能构成一个有穷的整数。跑得很快的阿基里斯 (Achilles) 要赶上乌龟，阿基里斯到达乌龟动身的地方，乌龟已经走到前面一个地方；阿基里斯到达那个地方，乌龟已移到更远的地方——如此永久继续，以至无穷，阿基里斯永远赶不上乌龟。 20

巴门尼德所争辩的焦点似乎在于词所偶然获得的意义，这种意义永远是任意的，并且常常在变化中；芝诺的疑难问题的基础却是一些关于无穷小的性质及时间和空间的关系的错误观念，这些错误观念已经为现代数学所澄清。但是，芝诺的确证明，如果以为事物可以无限制地分割为当时所理解的无穷小的单位，那么，这种观念是同经验不符的。只是到十九世纪把彼此不相等的不同种类的无穷数区别开来以后，才能把这种不符完全解决。

尽管这样，埃利亚的哲学在两个方面对我们仍然是很重要的。第一，它不信任感官，因而帮助了原子论者到感官所不能觉察的东西中去寻找实在，并且把后世所谓物体的第二性的质或可以分出

的质，如热或色彩，解释做只不过是感官知觉。第二，他们力图寻找代表万物中的基本实在的单一统一，一方面帮助了物理学家寻找单一的化学元素，另一方面也帮助了哲学家，把本质（Οὐσία）同质或偶有性（πάθη）分开。这个对物质本性的见解经亚里斯多德加以最后阐释以后，一直支配着中古时代的思想。

阿那克萨哥拉（Anaxagoras）是另一位爱奥尼亚哲学家，约在公元前500年出生于士麦拿（Smyrna）附近，四十年后，把爱奥尼亚的比较富于唯物主义色彩的哲学见解带到雅典。在阿那克萨哥拉看来，物质是一群不同的实体的集合物，每一实体都具有不同的质或偶有性，如感官所感到的。不管怎样分割，各部分所包含的东西总是和全体相似，不过可能由于成分比例不同而有所不同。运动最初是由智慧（νοῦς，“奴斯”）发动的。这是一种精微的流体，可以引起旋转，旋转扩散开来，就造成世界，并使它具有秩序。天体是和地球性质一样的物质；太阳并不是日神，而是燃烧着的石头；月球中有山与谷。除了这些见解外，阿那克萨哥拉在精确知识方面也取得一些真正的进步。他对动物进行解剖，对大脑的解剖学有一些认识，并且发现鱼是用鳃呼吸的。

我们在著名的四种元素假说中还可以找到另外一些关于物质的见解。这个假说是毕达哥拉斯派所持有的，西西里的哲学家恩培多克勒（Empedocles，公元前450年）对这个假说作了更明确的阐述。他认为物质的“根源”或“元素”是土、水、气和火——一种固体、一种液体、一种气体、一种比气体更稀薄的物质。这四种元素在整个宇宙中，受到两个对立的神力的影响，以各种不同的比例结合起来；所谓两个对立的神力，一是相引力，一是相斥力，即平常的眼睛可以看见在人们身上起作用的爱与憎。这个见解同毕达哥拉斯的观念颇为相似。由于这四种元素的不同的结合，就形成了所

有形形色色类型的物质，正象画家用四种颜料配成各种深浅的色彩一样。

巴门尼德过去就断定，人们以为他们在空气中可以觉察到一种空无所有的虚空，其实在空气中并不存在这种空无所有的虚空。阿那克萨哥拉和恩培多克勒证明空气是有质体的，恩培多克勒并且利用水钟作试验，证明只有空气逸出之后，水才能进入一个瓶中。这个发现证明空气既不是空无所有的空间，也不是水汽。

万物皆由四种元素组成的观念似乎是由于对火的作用的自然的误解而产生的。当时，人们以为，一个东西燃烧后，必然要还原为它的几种要素；可燃烧的物质都是复杂的，把它烧完后所留下少量的灰烬则是简单的。例如，青绿的木材燃烧时，由光可见其火，其烟则散入空气中，水由木柴的两端沸腾而出，而灰烬则具有土的性质。

后来，还出现过一些别的学说，都是建立在对火的这种看法的基础之上的。这种对火的看法是化学上第一个伟大的指导原则。马什(Marsh)说："火的学说有：希腊的四元素说，炼金术的金属成分说，医药化学的沉淀原质说，及燃素说"[①]，这后一学说是在十八世纪提出来的。这些学说的兴起和衰落，我们将在本书后面几章中加以阐述。

原子论者

恩培多克勒认为，设想四种元素以不同的比例相结合，便可以解释人类所知的种类无穷的不同物质。留基伯和德谟克利特把问题更加简化。他们把另一更古老的单一元素假说发展成为一种

① J. E. Marsh, *The Origins and Growth of Chemical Science*, London, 1928.

原子说①。

22　希腊人的原子说所依据的基础，同道尔顿、阿伏伽德罗（Avogadro）和坎尼查罗（Cannizzaro）提出今天的原子说和分子说时所知道的明确的实验事实大不相同。现代化学家对于各种化学元素结合时在重量上和体积上的比例，都有精确的定量计度。这些有限的和确定的事实使人们不能不形成原子的观念和分子的观念，并且断定原子和分子都具有相对的原子量和分子量。人们发现，这样形成的学说，同构成科学的共同遗产的许多其他孤立的或相互关联的事实和关系，都是相符的，也得到别的连续的经验的证明，并且可以当作一个有用的指针，来研究，甚至预测新的现象。虽然象一切其他科学概括一样，它也有其哲学意义，但是，这种哲学意义并不是从任何关于宇宙的全面哲学理论中推导出来的，甚至也并不是和这种理论有着必然的联系。这是一件不那么高贵的事情，然而却更加有用。

希腊人首先既没有确定的观察所得的事实，可以据以建立一个精确的和有限的理论，而且在理论成立之后，也没有力量通过实验来检验这个理论的推论。希腊人的理论是建立在一个哲学的宇宙体系之上，并包括在这个哲学的宇宙体系之内的。象古代和现代的各种形而上学的学说一样，它一直是一种决定于创始人和信徒的心理态度，因而也很容易为敌对哲学家的新学说从根本上加以推翻和取代的理论。事实经过也正是这样。

---

① 看已经提到的各种著作，特别是：Burnet；又 J. Masson, *The Atomic Theory of Lucretius*, London, 1884；Paul Tannery "Démocrite et Archytas", *Bull, des Sciences math.* vol. X, 1886, p. 295；F. A. Lange, *Geschichte des Materialismus*, 1866 and 1873, Eng. trans. London and New York, 1925；Cyril Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus*, Oxford, 1928.

爱奥尼亚的哲学家按照当时流行的形而上学的观念，根据当代的一般知识，进行推理。在物质被分割又分割之后，它的特性会保持不变吗？不管怎样分割下去，土还是土，水还是水吗？换句话说，物体的特性究竟是无法再加解释的最后的事实呢？还是可以按照更简单的观念加以描写，从而把一无所知的范围再缩小一步呢？

希腊人解决物质问题的努力在科学思想史上所以重要，正是因为他们企图这样用看起来比较简单的方式来求得合理的解释。按照他们的学说提出以前的观念和原子哲学衰落以后的观念，物质的特性被认为属于物质的本质；食糖的甜和树叶的色彩，同食糖和树叶本身一样是一种实在，无法联系其他事实加以解释，也不能解释作是人的不同的知觉。

探讨一下希腊原子说的起源，是很有趣的。基本元素，泰勒斯以为是水，阿那克西曼德以为是气，赫拉克利特以为是火。阿那克西曼德的元素——气——可以凝缩和稀薄起来，但其本质不变。赫拉克利特的无尽流动说说明他以为有一些看不见的粒子在运动，表现为水的蒸发和香气的弥散。再往上推，毕达哥拉斯派的理论认为同数的法则相符合的完整的单子是终极的实在。毕达哥拉斯派还认为在空虚的空间里，是没有物质的，不过，他们把这种空间和空气混淆起来。这一看法受到巴门尼德的抨击，但是，原子论者由于难以解释粒子怎样在一个塞得满满的空间或充满物质的空间中运动，又重新提出了这一看法。这时已经知道空气是有质体的，因此，在原子论者看来，一无所有的空间就变成了真空。 23

正是这些思潮启发了原子说：物质是由散布在真空中的终极粒子组成的。这个学说解释了当时已知的一切有关事实——蒸发，凝聚，运动和新物质的生长。诚然，根本问题依然存在，其他希腊

哲学家也强调指出过这个问题。原子本身能够无限地分割下去吗?原子论者逃避了这一逻辑上的漏洞，认为原子从物理上来说是无法分割的，因为原子内部已经没有真空。

我们所知道的最早的原子论者是留基伯(Leucippus)和德谟克利特(Democritus)。前者是公元前五世纪的一个身世不明的人物，据说在色雷斯(Thrace)创立过阿布德拉(Abdera)学校；后者于公元前460年生于阿布德拉。我们从亚里斯多德等后来的著作家的著作中以及伊壁鸠鲁(Epicurus，公元前341—270年)的著作中，知道了他们的见解。伊壁鸠鲁采纳了原子说，并且在雅典讲授原子说，作为他的全面的伦理、心理和物理哲学的一部分。这个学说二百年后又在罗马诗人卢克莱修(Lucretius)的诗篇中提了出来。

留基伯提出了原子论的基本观念，还提出了因果原则——“没有什么事情无缘无故而发生，一切事情的发生都有原因和必然性。”他和德谟克利特继爱奥尼亚哲学家之后，继续努力用比较简单的要素来解释物质特性。他们看出，承认物体特性是根本的和无法解释的，就是杜绝一切进一步的探讨。与这一观点形成对比，德谟克利特说:“按照通常说法，有甜有苦，有热有冷，按照通常说法，有色彩。其实，只有原子和虚空。”毕达哥拉斯有一种相对主义的观点，认为“人是万物的衡量尺度”，例如，蜜在我为甜，在你也可为苦。德谟克利特虽然反对毕达哥拉斯的见解，却也看出，单单通过感官，是达不到实在的。

德谟克利特的原子是无前因的，从永恒就存在的，并且永不毁灭——“保有刚体的单一性而坚固”。它们在大小和形状上是多种多样的，但是在本质上却是一样的。因此，特性的不同是由于具有同一终极性质的质点在大小、形状、位置和运动方面的不同而产生

的。在石头和铁中，原子只能颤动或振动，而在空气或火中，它们就能在较大距离中跳跃。

原子在无限的空间中向四面八方运动，互相冲击，引起了直线运动和旋转，这样就把类似的原子结合在一起，组成元素，开始形成无数世界。这无数的世界生长，衰颓，以至于最后毁灭，只有与本身环境相适应的体系才能存在下来。在这里，我们可以看见星云假说和达尔文的自然选择说的微弱的前兆。

在原来的原子说中，并没有绝对的上下轻重的观念。而且，运动非经反抗不会停止。在亚里斯多德看来，这些正确的见解是不可置信的。后来，似乎就有人按照他的意见对这个学说加以修改。这个真理还得伽利略来重新发现。在天文学方面，原子论者开了倒车，以为地球是扁平的；但是，在其他方面，他们都走在他们的同时代人和后来人前面。

卢克莱修告诉我们的德谟克利特的学说，把过去人们心目中的自然界的画面巧妙地加以简单化。事实上，这个画面是太简单了。原子论者竟不自觉地把两千四百年后还不能解决的一些困难，轻轻放过。他们大胆地把这个学说应用于至今仍然无法从机械角度加以解释的生命和意识的问题。他们满怀信心地自以为把一切奥秘都发现了，对于围绕着一切存在的那个巨大奥秘，视而不见。这个奥秘至今仍然和最初提出原子说时一样奥妙无测。

原子论者和他们的对手所争论的哲学问题，也就是十八世纪牛顿的法国信徒把他的物理学当做一种机械哲学的基础时重新出现的那个哲学问题。自然界背后的实在究竟是一种在本质上同人类心灵所见的自然界相似的东西呢？还是一种对人和人的福利漠不关心的巨大机器呢？一座山实际上是披着树木的绿袍，戴着永不溶化的雪帽的一堆岩石呢，还是实质上是一批没有人的品质的

小质点、一批不知何故能使人类心灵产生形式和色彩幻觉的小质点的集合体呢？物理学家把物质分析为质点，发现它们的力量和运动可以从数学角度加以描写。唯物主义者把这一科学结果引到哲学中来，说除此之外，别无实在。唯心主义者反对把宇宙看做是非人的，而在希腊，原子哲学就因此持有这种看法而遭到反对。到十八世纪，牛顿的科学已经根深蒂固不容推翻，于是不能不在笛卡尔(Descartes)的二元论中或贝克莱的唯心主义中别求出路。

不管它在哲学上的价值怎样，在科学上，德谟克利特的原子说要比它以前或以后的任何学说都更接近于现代观点。它在柏拉图和亚里斯多德的摧毁性的批判下，实质上遭到压制。从科学观点来看，这应该说是不幸。后来几个时代竟让各种形式的柏拉图主义代表希腊思想，这个事实实在是科学精神从地球上绝迹一千年之久的原因之一。柏拉图是一个伟大的哲学家，但是在实验科学史上，我们不能不把他算作一个祸害。

希腊医学

希腊医学[①]中包含的东西有很多是直接或间接从埃及得来的。希腊的两个最著名的学派是柯斯(Cos)学派和克尼多斯(Cnidos)学派。前一学派把疾病看做是正常健康身体的错乱，因此依靠自然疗法；后一学派研究每一疾病，并寻找对症疗法。

关于最早的有史时代，一件有趣的事，是荷马的《伊利亚特》[②]准确地叙述了不同创伤的后果，其中描写的治疗方法也简单而直截了当，说明了荷马笔下的英雄们所属的种族在医学和外科方面

① C. Singer, *A Short History of Medicine*, Oxford, 1928; R. O. Moon, *Hippocrates and his Successors*, London, 1923.

② 《伊利亚特》(*Iliad*)是荷马叙述希腊与特洛亚(Troy)战争的长诗。——译注

具有理性精神的健全传统。不过，看来这个传统并不是普遍的。在《奥德赛》[①]里，巫术就出现了，在希腊境内的大多数人民中间，正象在别的南方和东方的国家一样，符咒和驱邪成了流行的治疗方法。就是到了较晚的时代，这两种思想也是同时并存的。到古典时代快要结束时，希腊医学知识已经达到最高峰，埃匹道拉斯(Epidaurus)，雅典和其他地方的爱什库拉匹(Aesculapius，医神)庙所提供的医疗中，仍然有很多巫术和符咒的成分。但是，即令到今天，在英格兰和威尔士，也还有些地方依赖符咒治疗。

随着医学的发展，希腊人所十分珍视的演绎方法也应用到医学上来，关于人的本性和生命起源的许多先入之见被当作医疗的基础，而且毫无疑问，也使很多病人送掉性命。在理论不越出范围时，医学也就取得长足的进步；医师的地位也相应地提高了，而且还采纳了一个极好的医师法典，后来列入著名的希波克拉底誓词中[②]。誓词中宣布，医师要处处为病人的福利着想，要保持自己的一生和自己这一行业的纯洁和神圣。

大多数希腊哲学家都谈到过——至少是附带地——医学理论。毕达哥拉斯派把他们的特殊信条也应用到医学理论上来。克罗顿的阿尔克莽(Alcmaeon of Croton，公元前500年左右)是苏格拉底以前的主要胚胎学家，首先进行解剖的大概就是他。他发现了视觉神经，并且认识到，大脑是感觉和理智活动的中央器官。阿那克萨哥拉用动物进行实验，并且用解剖方法研究它们的构造。恩培多克勒认为血液流向心脏，并由心脏流出，健康有赖于人体中所谓四种元素的正确平衡。

---

① 《奥德赛》(*Odyssey*)是荷马叙述希腊英雄奥德赛自特洛亚战争后返回伊萨卡(ithaca)的长诗。——译注

② C. Singer, *A Short History of Medicine*, p.17.

希腊医学到希波克拉底（Hippocrates，公元前420年左右）的学派而登峰造极。他们的理论和医术都和今天流行的有几分相似，远远走在现代以前的任何时代的见解前面。他们研究生理学时并不象亚里斯多德和盖伦（Galen）那样去追问“最后因”；他们多问“怎么样”，而少问“为什么”，因而具有现代精神。实验的方法出现了；例如，希波克拉底派研究胚胎学的著作家建议观察者每天打破一个鸡蛋，去观察孵化的过程。他们认为疾病是一种要服从自然法则的过程。他们坚决主张进行精微的观察和周密地解释症候，从而指出了走向现代临床医学的道路。他们还对许多疾病作了准确的描写，指示了适当的医疗方法。他们在相当程度上进行了解剖，但是，直到后来，大概是在托勒密王朝的统治下，才在亚历山大里亚进行了系统的人体解剖，第一次给人体解剖学和生理学提供了事实确凿的可靠基础。

从原子论者到亚里斯多德

原子哲学标志着希腊科学第一个伟大时期的最高峰。其后就是一个停顿时期，甚至可以说是一个倒退时期，可见用哲学的先验方法研究自然是多么危险。雅典成为一个民主邦以后，人们的主要精力或许都转到词藻和政治方面去了。流利的言词成为飞黄腾达的唯一道路，哲学家转而去研究经济学和伦理学，数学和自然科学就有无人问津之慨。

知识的下一次进步见于早期史学家的著作中。最早的或许是赫克特斯（Hecateus，公元前540—475年）。后来又有希罗多德（Herodotus，公元前484—425年），他游历极广。在他的著作中有不少有关人民和国家的宝贵记载。他具有值得钦佩的求知欲，这从他对于尼罗河定期泛滥的原因的探究和思考中，可以看出。在

修昔的底斯(Thucydides,公元前460—400年)的身上,可以看到一种更精确的批判精神。他本着一个科学的历史学家的精神,批判了希腊历史的神话时期,以目击者身份描写了伯罗奔尼撒战争,并且记载了雅典的大疫和公元前431年的日食。

原子论的影响还可以在一部分反对者的怀疑中看出来。反对者象原子论者一样,怀疑感官是否能够向我们提供外部世界的信息。但是,他们得出了相反的结论。原子论者认为实在在于物质,而不在于心灵;反对的学派认为感官传达的关于实在的信息虽然是可疑的,但是感觉的确存在,因此,感觉才是唯一的实在。后来一个时代,也出现过从机械论到现象论两种对立的哲学。

在苏格拉底身上,出现了这种反动的富于批判精神的典型。他以查问者的姿态,对诡辩家、政治家和哲学家,无不加以诘难,一遇到无知、愚蠢和自命不凡,就加以揭发。他主张心灵至高无上,因为心灵能领悟真正的"形式"或理想,感官对象只不过是有接近这种"形式"的倾向而已。道德的完美是一种理想;平等是一种理想。但是,两块石头也只能是接近于相等,因为相等是一个极限。苏格拉底认为心灵是唯一值得研究的对象,并且认为真正的自我不是肉体,而是灵魂和内心生活。这样,由于他的影响,人们的注意力就往往离开了对自然界的考察。事实上,从某种观点来看,苏格拉底领导了一次反对爱奥尼亚自然哲学家的唯物主义态度的宗教反动,虽然群众的叫嚣给他加上了无神论者的罪名。柏拉图为什么反对机械决定论,可以在《斐多篇》(*Phaedo*)描写的著名场面中得到解释。那里叙述了苏格拉底在狱中等待饮毒时刻到来的情景。据柏拉图说,苏格拉底告诉他的朋友们说,在阿那克萨哥拉看来,他的筋骨的本性可能就是他坐在那里的原因。但是,真正的原因是:

由于雅典人觉得给我定罪比较好，所以我也觉得坐在这里比较好，留下来接受他们所定的惩罚比较好，因为我可以发誓，要是当初我不认为接受这个城市给我的任何判决比起溜之大吉来是一个更正当、更体面的办法的话，我的筋骨早就按照有人所说的最上策办法，到了米加腊(Megara)或波奥提亚(Boeotia)了。

28

苏格拉底在这里表现了一种对不成熟的机械论哲学的自然反感，或许在某种程度上还表现了对于科学态度的误解和敌视。可以肯定，他使得哲学界不再去研究过去和现在，而去考虑未来——所以要创造世界的目的所在。不过，据亚里斯多德说，有两种科学成就完全可以归功于苏格拉底——一些普遍的定义和归纳推理。

他的学生柏拉图(公元前428—348年)是唯心主义的最伟大的代表。在他的身上，怀疑论和神秘主义结合在一起。柏拉图对于自然的看法是从人类需要和意向中先验地推导出来的。神是好的，球是最完美的形式，因此，宇宙必然是球体的。本原物质和延展的空间是同一的；四种元素并不是自然界的字母表上的字母，甚至不是自然界的单词的音节。为了标志时间，才有在圆圈中运行的天体，天体所以作圆运动是上帝使然。柏拉图显然受到了毕达哥拉斯学派关于形式和数的神秘主义理论的影响。他在把这个理论运用到天文学上去的时候，不及毕达哥拉斯派具有现代精神，但是他认为星星是自由地在空间中浮动的，靠它们的神性的灵魂而运动。把柏拉图的一些圆圈联合起来，就可以得到太阳绕地球运转的视轨道。这个天文学学说后来由希帕克和托勒密加以详细发挥。不过，据说柏拉图到了晚年又认识到，如果假定地球是运动的，就可以更简单地说明天文现象。

柏拉图的物理学和生物学带有拟人观的色彩，甚至带有伦理的色彩。爱奥尼亚派认为宇宙是进化而来的，柏拉图却以为宇宙

是创造而来的。他的宇宙是一个有形体，有灵魂、有理性的活着的有机体。在《蒂迈欧篇》(*Timaeus*)中，他根据宇宙和人，即大宇宙和小宇宙的异想天开的类比，从这个学说中，推演出一种关于宇宙的性质和结构的见解来，甚至推演出一种关于人体生理的见解来。大宇宙和小宇宙相似的说法也为阿尔克莽所持有，一直流行到中世纪末。

建立在这种思想基础上的柏拉图的科学，大半是荒唐的。他严厉地非难实验是渎神的，是下流的机械技术。另一方面，他却对数学这种演绎科学，给予高度评价。柏拉图亲自阐明了负数的观念，把线看做是从一点"流出"的——这就是牛顿和莱布尼茨(Leibniz)所发明的"流数法"的萌芽。在数学方面，他把或许是由观察而得、但却由理性加以净化的心理概念，拿来加以逻辑的分析，并展开其推论。这的确是一件值得哲学家去做的既有无限乐趣又十分辛苦的工作。 29

这些见解引导柏拉图把"理式"说加以发展。这种理论认为，只有"理式"或理念才具有充分的存在和实在，个别的东西是没有充分的存在和实在的。这个学说后来又被应用到分类问题上去。在自然界中，我们看到有无数集团多多少少是类似的；比方说，一方面有各种三角形，另一方面有动植物的"种"。希腊人和中古时代的人从来没有把问题的这两个方面区别开来，也从来没有认识到，要给自然界的种种活的对象分类，有种种困难。他们认为"类"是互相截然分开的，象用来给它们命名的词一样，因此，他们就着手去先验地研究组成类的各个个体的类似点。

为了解释这种类似性，柏拉图以为有一个原型，各个个体都同这个原型有几分符合或接近。柏拉图发现，当心灵开始制订定义并且用适用于任何具体情况的一般性术语来就这些定义进行推论的

时候，定义和推理都是同这些假设的类型联系着的。自然界的一切对象都处在经常变化的状态；只有类型是实在的，和保持一成不变的。由此，柏拉图就形成了他特有的那种唯心主义，后世称之为唯实论。这个学说认为，这些理念具有实在的存在，事实上是唯一的实在。个体，不论是死的物质也好，活的东西也好，都只不过是影子。在心灵把握住它们的本质，从而发现类或共相以前，它们之中是没有实在的。只有理念或共相才是理性分析的真正的和适合的主题。

雅典学园的柏拉图的学校一直维持了九个世纪之久——直到公元529年，罗马查士丁尼大帝(Emperor Justinian)才把它封闭了。

亚里斯多德

亚里斯多德[①]于公元前384年生于卡尔息底斯(Chalcidice)的斯塔吉拉(Stagira)，公元前322年死于欧比亚(Eubcea)。他是马其顿的国王腓力浦侍医的儿子，自己也做过亚历山大大帝的师傅。他师事柏拉图，学习多年之后，自己创立一个新的哲学学派，后世称为逍遥学派(the Peripatetic)。因为当时，先生和学生习惯于在雅典吕克昂(Lyceum)的花园里散步。

亚里斯多德是古代知识的集大成者。在现代欧洲的学术上的文艺复兴以前，虽然也有一些人在促进我们对自然界的特殊部分的认识方面取得可观的成绩，但是，在他死后的数百年间从来没有一个人象他那样对知识有过那样系统的考察和全面的把握，所以，他在科学史上占有很高的地位。中世纪早期知识界的任务之一就

30

① 亚里斯多德全集英译本1908年起在牛津大学印刷所陆续出版。又看 W. D. Ross, *Aristotle*, London, 1923。

是从一些不完善不完备的撮要中尽量吸收他的研究成果；在西方出版亚里斯多德著作全集以后，中古时代后期的著作家们就尽其全力去重新发现他的原意。亚里斯多德的著作是古代世界学术的百科全书，而除物理学和天文学外，他在他所接触到的各种学术方面，大概也真正有所改进。此外，他还是归纳法的创立人之一，还是主张进行有组织的研究的第一人。不过，他所以享有盛名的原因，仍在于他在科学方面和知识分类方面的劳绩。

在留传下来的他的许多著作中，《物理学》(*Physical Discourse*)讨论了自然哲学，存在的原理，物质与形式，运动，时间和空间，外重天的永远在运动的球体以及为了使这个外重天运动不已而必须有的不动的原动者(the Unmoved Mover)。亚里斯多德认为要使一个物体运动不已，需要有一个不断起作用的原因，而柏拉图却似乎认为只有使物体离开一条直线的道路，才需要有一个原因。亚里斯多德在《论天》(*On the Heavens*)一书中就逐渐从外重天上降下来，开始讨论物质和可毁灭的东西，并进而讨论了发生和毁灭。在这个发生和毁灭的过程中，相互对立的原则冷和热，湿和燥两两相互作用，而产生了火、气、土、水四种元素。除这些地上元素外，他又添上了以太。以太作圆运动，并且组成了完美而不朽的天体。

《气象学》(*Meteorologics*)讨论了天和地之间的区域，即行星、彗星和流星的地带；其中还有一些关于视觉、色彩视觉和虹的原始学说。第四册里叙述了一些原始的化学观念。这大概不是出自亚里斯多德的手笔，而是出自他的继承人斯特拉敦(Straton)的手笔。有两种发散物囚禁在地球内部：一种是蒸气状的或湿的，金属就是由此生成的；一种是烟状的或干的，不能融化的岩石和矿物就是由此生成的。他对凝固和溶解，发生和腐化以及混合物的特

性，都提出了一些见解。在我们看来，亚里斯多德的气象学远不如他的生物学著作那样令人满意，然而这部著作在中世纪后期却有很大的影响。

31　在精确知识方面，亚里斯多德所取得的最大进步或许应该首推他在生物学方面的贡献。他给生命所下的定义是："能够自我营养并独立地生长和衰败的力量。"他把动物学分成三部分：(1)关于动物的记录，这一部分讨论的是动物生命的一般现象，因而也就是自然史；(2)论动物的各部分，这一部分讨论的是器官及其机能，因而也就是解剖学和普通生理学；(3)论动物的生殖，这一部分讨论的是生殖和胚胎学。他提到五百种左右不同的动物，有一些叙述得精确而详细，说明他亲自观察过；另有五十种是根据从解剖得来的知识加以叙述的，并附有插图。在叙述其他动物时，他所依靠的是渔人、猎人、牧人和游历家。

自然，这一大堆资料，价值是不等的，但是亚里斯多德记载的事实也有许多是到近几百年来才重新发现的。他认识到鲸鱼是胎生的；他把软骨鱼和有骨鱼区别开来；他描写了鸡胎的发展，注意到心脏的形成，并观察了心脏在蛋壳中的跳动。

在普通胚胎学方面，他的见解也标志着一个重大进步。早先的见解（可能是从埃及得来的）认为父亲才是唯一真正的亲体，母亲只不过供给胎儿一个处所和营养而已。这种信念流传甚广，并且成为古代和现代世界的父系风俗的主要根据。亚里斯多德认识母体对生殖也有贡献，并且认为母亲供给了活跃的男性因素形成所必需的物质。他把胚胎看做是一个自动的机制，一经推动，就自动进行。

在动物分类问题上，较早的对分原则把动物划分成互成对比的两类，如陆上动物和水居动物，有翅动物和无翅动物等等。亚里

斯多德反对这个原则。他注意到，按照这个原则分类，就会把具有很近的亲属关系的动物分开，如把有翅蚁分入一类，把无翅蚁分入另一类。他认识到，有必要采用尽可能多的足资区别的特性。靠了这个方法，他制成一个分类表，比以往任何分类表都更接近于现代的分类系统。

在生理学方面，他的结论和学说常常是错误的。但是，就是在这一方面，他似乎也实行过活体解剖，因此，一般来说，他的方法仍然是前进了一大步。例如，在描写了以前的博物学家关于呼吸的意见之后，他指出："这些作者所以不能对事实给予很好的说明，主要原因在于他们不熟悉内部器官，他们不承认自然界的任何行为都有一个最后因。如果他们追问一下呼吸在动物身上存在的目的何在，同时联系器官即鳃和肺来考虑这个问题，他们本来可以更快地发现其原因。"在这里，他坚持在对器官功能形成见解之前首先要观察解剖构造，这是正确的，不过，他坚持要追问最后因，那就太危险了。他随后就综述了许多动物的构造，描写了它们的肺或鳃的作用。在得出结论时，他当然没有多少化学知识可以依靠，因为当时除空气外，还不知道其他气体存在，而除了对空气加热和冷却外，也想不出空气还会有什么变化。亚里斯多德说，呼吸的目的是要使空气和血液接触，以冷却血液。这个说法在我们看来显然是错误的，但也许是当时所能提出的最好学说。另一方面，看起来值得奇怪的是，阿尔克芬和希波克拉底已经认识到大脑是智慧的所在地，而亚里斯多德还要回到心是智慧总府的旧说。在他看来，大脑只不过是冷却器官而已。此外，他不承认植物有雌雄之别，这也使得这个事实经过很长时间才被人重新发现和最后承认。

32

在现代意义的物理学方面和天文学方面，亚里斯多德不象在生物学方面那样成功。亚里斯多德所以在生物学方面成功，是因

为生物学直到近年来为止，一直主要是一门观察科学。亚里斯多德抨击原子哲学，十分奏效。但这只说明有些物理学说不堪一击。因为这些学说虽然本身是健全的，但并没有建立在实验事实的广泛而详细的基础上。他所以完全拒绝原子说，是因为原子说的推论同他对自然界的其他看法不相符合。而且尽管并没有什么肯定的事实可以证实他的见解，他也竟然能使他的见解得到普遍的公认。

关于亚里斯多德的批判方法，我们可以举他对落体问题的论点为例。这个例子很能说明问题。德谟克利特认为，在真空中，重的原子会比轻的原子降落得快些。亚里斯多德却认为在真空中，物体降落时必定一样快，但是他又认为，这样一个结论是不可想象的，因此决不可能有真空。

除了不承认有空无所有的空间外，他还拒绝了原子说的一切有关的概念。他认为，如果一切物体都是由同一终极物质组成的话，它们按照本性就全都是重的，同时也就没有什么东西本身是轻的或者有自发上升的倾向了。一大堆气或火会比一小堆土或水重，因而土或水也就不可能在气或火中下沉。可是事实上，人们都知33道，土或水在气或火中是要下沉的。

亚里斯多德所以发生错误，是因为和阿基米得以前的其他哲学家一样，他缺乏今天所谓的密度或比重观念；他没有能看出，决定物体的升降的是它的单位体积的重量和它周围的媒介的重量的比例。他追随柏拉图的学说，把运动归因于引导一切东西自寻其天然归宿的内在本能。这一认为物体本身按其本质而有轻重之分的理论，和亚里斯多德哲学的其他部分一起为中世纪晚期的经院派和神学家所接受。这样，他的阴魂就阻碍了知识的进步，直到公元1590年前后，史特芬(Stevinus)才实际进行实验，证明除了空气

阻力所造成的差异不计外，重的物体和轻的物体是按同一速度降落的。这样，在伽利略得知并重新进行这一实验后，才摧毁了亚里斯多德关于轻重是本质特性的看法。

亚里斯多德虽然承认地球是球体，但仍然坚持地球中心说，认为地球是宇宙的中心。他的权威在阻止天文学家接受阿利斯塔克提出的太阳中心说方面，起了很大作用。直到一千七百年以后的哥白尼时代，局面才为之一变。

亚里斯多德由于唾弃原子说，也就回到了毕达哥拉斯派所创始的见解：物质的本质可以在四种不同而相反的本原的基本性质——即热和冷，湿和燥——中找到。这四种性质两两结合，而形成四种元素，即土、水、气、火。土、水、气、火又按不同的比例组成不同种类的物质。如水是湿和冷的组合，火是热和燥的组合，等等。后世的作家把这一学说和希波克拉底的理论混合起来。这个理论认为，人体为四种体液所组成，即血液、粘液、主愁的黑胆和主怒的黄胆。据说，这四种体液的结合就决定了身体的构造，如果某种体液过多，就可以分别造成多血质、粘液质、忧郁质和胆汁质四种气质。这些作家们以为，血液与火有关，粘液与水有关，黄胆与气有关，黑胆与土有关。

在我们看来，这一切都是想入非非的无稽之谈。但是，要了解古代的思想和中古时代的思想，还有要了解我们今天的语言中仍然使用的某些词的来源之一，这些却都是必不可少的。四种元素的学说一直存在到十七世纪，而今天我们在形容朋友的脾气时，还 34 要使用四种体液说的术语。

除了关于各门科学的著作外，亚里斯多德在许多哲学问题上也有不少著作。这些著作合起来对当代和后世都有很深刻的影响。他从他在哲学方面的老师柏拉图那里，接受了许多形而上学的观

念。其中有些观念，他按照他的更丰富的自然知识，加以修改。柏拉图看不到实验科学的意义；他的兴趣局限在哲学方面。或许是由于这个缘故，柏拉图关于自然的整个学说，甚至还有他的门生亚里斯多德关于自然的学说，才不及老一辈的自然哲学家的结论符合我们今天所知道的真理。可是，在形而上学方面，柏拉图要比他们深入得多，而在科学细节问题上，亚里斯多德要比他们知识广。

希腊思想中比较富于形而上学性质的方面，同我们没有多大关系。可是，由于柏拉图的理念理论在中古时代的争论和文艺复兴以后现代科学的发展中十分重要，我们不能不再谈谈柏拉图的这一理论以及它在亚里斯多德手中发生的变异。

我们说过，柏拉图认为个体的东西或个体的存在——一块石头，一株植物或一个动物——不具有充分的实在。只有普遍的类(universal class)的“理式”，不管是石头的还是植物的，才是充分实在的。

亚里斯多德常常埋头于详细研究确定的个体动物或其他具体对象。因此，在亚里斯多德看来，这种彻底的唯心主义不是一个方便的心理态度，事实上，他也摆脱了它。但是，他的老师的影响仍然存在着，到晚年愈甚，虽然他始终没有回到柏拉图的极端观点上来。亚里斯多德一方面承认个体，即具体感官对象的实在性，另一方面也开始认识到共相或观念是第二性的实在。到晚年，亚里斯多德与柏拉图的“唯实论”的分歧就发展为所谓“唯名论”。按照这种“唯名论”，个体是唯一的实在，共相只不过是名称或心理概念。我们将在论述中古时代思想时，再来讨论整个这个问题。

不管从形而上学的观点来看，柏拉图的理念说包含多少真理，促成这种理论的心理态度却是不适于促进实验科学的事业的。看来，事情很清楚，在哲学仍然对科学起着支配性影响的时候，唯名

论，不管是有意识的还是无意识的，都比较有利于科学方法的发展。不过，柏拉图对于“理式”的追求或许也可以看做是对于可见 35 现象的原因的猜测。我们现在开始了解到，科学无法同终极的实在打交道；它只能就人的心灵所见的自然界绘成一幅图画。从某种意义上来说，我们的观念在那个理想的图画世界中是实在的，但是，所绘出的个体事物究竟是图画而不是实在。因此，这也许可以证明，一种现代形式的观念实在论也许比一种粗糙的唯名论更接近于真理。虽然这样，作为大多数实验的基础的只求便利的假设仍然假定个体事物是实在的，大多数科学家也都经常讲唯名论而不自知，正象茹尔丹先生①经常讲散文而不自知一样。

如果我们研究一下希腊人的归纳程序，希腊人的归纳科学所特有的弱点就完全可以解释。亚里斯多德在讨论由特殊事例过渡到一般命题的理论时虽然讲得头头是道，可是在实践中，他却常常遭到悲惨的失败。他拿起少数已知的事实，就想马上得出最广泛的概括，自然要遭到失败。当时还没有足够的事实，也没有充分的科学背景，可以把这些事实嵌入。何况，亚里斯多德还认为这一归纳工作只不过是演绎科学的必要的预备步骤罢了。演绎科学运用逻辑推理，从归纳法所得出的前提演绎出它的推论，才是真正的科学。

亚里斯多德是形式上确凿无疑的形式逻辑及其三段论法的创立人。这是一个伟大的发现；在小人物，单靠这个发现，就已经可以名垂不朽了。亚里斯多德把他的发现运用到科学理论上来。作

① 茹尔丹先生（Monsieur Jourdain）是莫里哀喜剧《醉心贵族的小市民》中的主人公。他一生中说的都是散文，但一点也不知道散文是什么东西。——译注

为例证，他选择了数学学科，尤其是几何学。因为几何学当时已经从泰勒斯想要对土地测量的经验规则给予合理说明的早期试验阶段，过渡到后来的具有比较完备的演绎形式的阶段。

但是，三段论法对于实验科学却是毫无用处的。因为实验科学所追求的主要目的是发现，而不是从公认的前提得出的形式证明。从元素不能再分割为更简单的物体的前提出发，在1890年未尝不可得出一个正确的已知元素表，但是到1920年，再运用这个前提就会把一切放射性元素排除在外。这样，前提既已改变，“元素”一词的意义也就改变了。但是，这个事实并不能使三段论法归于无用，也不能使现代物理学归于无效。

幸而现代的实验家并不在逻辑的形式规则上操心费神；不过，亚里斯多德的工作的威信在促使希腊和中古时代科学界去寻找绝对肯定的前提和过早运用演绎法方面，却起了很大作用。其结果，就把许多有不少错误的权威都说成是绝对没有错误的，并且用欺骗性的逻辑形式进行了很多错误的推论。正如席勒博士(Dr. Schiller)所说：

36

> 当时对整个科学理论都加以周密的解释，对整个逻辑都加以周密的构造，务求达到实证科学的理想，而这个实证科学却建立在一个错误的类比上，也就是把它拿来和证明的雄辩术相比。这个错误还不足以说明亚里斯多德死后近两千年间经验为什么遭到忽视，科学为什么不进步吗？①

亚里斯多德死后，逍遥学派的领袖是他的门生德奥弗拉斯特(Theophrastus)。他生于公元前370年左右。他的主要成绩是在矿

① *Studies in the History and Method of Science*, ed. C. Singer, Oxford, 1917, p. 240.

物学和植物学方面。他的植物学不论在分类方面和生理学方面都有贡献。有一些人认为随亚历山大远征的科学人员所搜集到的记录都为德奥弗拉斯特所利用。他对各种植物加以描写和分类，并且对植物的器官和功能有了一些认识。例如，他能把球根、块根和地下茎同真正的根分开，并且懂得了高等植物的有性生殖。这一知识由于亚里斯多德的蔑视，不久就失传了。直到安德利亚·舍萨平尼(Andrea Cesalpini)在文艺复兴时期重新肯定了德奥弗拉斯特的研究成果，情况才有所改变。

德奥弗拉斯特的继承人是斯特拉敦。他是一个物理学家，自己虽然持有彻底的机械论哲学，却很想把亚里斯多德的观点和原子论者的观点加以调和。从这时起，吕克昂学派就渐渐不那么重要了，到公元前三世纪中叶，它的工作就结束了。

在柏拉图的时代和亚里斯多德的时代之间，大约在公元前367年左右，克尼多斯的欧多克索(Eudoxus of Cnidos)对天文学有卓越的贡献，虽然他的天体演化学说同主张地球在运动的毕达哥拉斯学派的见解比起来，是后退了一步。欧多克索认为，地球是万物的中心，太阳、月球和行星都在同心透明球体中绕地球而运转。这是企图说明这些物体的表面上不规则运动的第一次重大的尝试。欧多克索的学说引导希帕克和托勒密制订了更周密的体系。在哥白尼的时代以前，天文学家对他们的本轮和均轮说，一直是满意的。地球中心说现在已经没有人相信了，但是它对现象给予量的解释，在当年，的确比以往的见解大大前进了一步。一个错误的假说如果能成为进一步探讨的向导，在当时也许会比一个至今无法验证的比较正确的假说，更有用处些。

37

希腊化的文明[1]

现代人研究古代时偏重于文艺，总是把主要注意力放在雅典的诗人和雕塑家产生名作的各时代。要说希腊的古典时代没有产生科学，那是不公允的。在欧几里得以前已经有几何学；希波克拉底的医学和亚里斯多德的动物学都是根据可靠的观察；但是，哲学观点是形而上学的，而不是科学的；就是德谟克利特的原子说也是思辨的哲学，而不是科学。

随着亚历山大大帝的出征，我们也就到了一个新的时代。他把已经在越过地中海向西传布的希腊文化，带到了东方，并且使巴比伦和埃及同欧洲的接触更加密切。而他的随行人员则搜集了大量有关地理学和自然史的事实。从此，从公元前323年亚历山大去世到公元前31年奥古斯都(Augustus)建立罗马帝国时为止历时三百年之久的希腊化过程，就开始了。在这三百年间，在本土已经越过鼎盛时期的希腊文化更散布到别的国度，支配了当时已知的世界。一种希腊语，ἡ κοινή (共同的言语)，“从马赛到印度，从里海到大瀑布”，到处通行，而上流社会，从罗马到亚洲，也无不接受希腊的哲学和希腊的人生观。贸易变成国际性的了，思想自由也达到只有现代某些西方国家才达到的水平。

由于对地球有了更多认识，人们对自然界的事物更加富于好奇心了，也更富于科学态度了。我们马上就感觉到有一种比较熟悉的气氛——事实上，当时的情况就和我们的时代非常仿佛，只是机器很少，奴隶很多而已。方法有了改变。我们从全面的哲学学说和百科全书式的知识综述，过渡到了比较富于现代气息的专业化。

---

① W. W. Tarn, *Hellenistic Civilization*, London, 1927; W. H. S. Jones and Sir T. L. Heath, “Hellenistic Science and Mathematics”, in *Cambridge Ancient History*, vol. Ⅶ, p. 284.

确定的和有限度的问题和别的问题分离开来，单独加以研究，对自然的认识有了真正的进步。事实上，从雅典的综合哲学到阿基米得和早期的亚历山大里亚人的分析科学的变化，就同从中古时代晚期作家的经院哲学到伽利略和牛顿的近代科学的变化，十分相似。

在希腊化的学术中，希腊成份占有压倒优势，但也不缺乏其他的影响。在这个当儿，巴比伦的天文学在希拔的基德那(Kidenas of Sippar)的领导下也取得进展，这时已经通过希腊语语本传入，带来了异想天开的迦勒底人的占星术。哲学上最重要的发展是斯多噶派的学说。这一发展应归功于基齐昂的芝诺 (Zeno of Citium)。当时，他被看做是腓尼基人。 38

希腊化时期包括两个阶段：第一个阶段是政治、文学、哲学和科学方面的扩展和创造阶段；第二个阶段是创造冲动消耗殆尽，在物质和精神方面都表现了东方对西方的反动的阶段。“希腊—马其顿世界恰好处于这个反动潮流和罗马之间，到最后，罗马在摧毁了希腊化的国家制度之后，才终于被迫代替它成为希腊文化的旗手。”但是，希腊化的希腊时期在罗马内战中结束了，罗马帝国所建立的文化虽然属于希腊—罗马性质，终究也无力长期排斥亚洲的影响。

甚至在比较早的时期，即在亚历山大的时代之后不久，东方的思想就已经开始传布。星象崇拜在巴比伦开始得很早。他们以为天上的星宿和地上的人有对应关系，在固定轨道上运行的行星可以决定人们的行动，因为人是一个小宇宙，是大宇宙的对应体，人的灵魂只不过是星球内燃烧的火的一点火花。这样，就产生了巴比伦人的可怕的命运观。星宿，神和人全都受着命运的支配。

柏拉图已经听说过占星术，但是，占星术的实际知识，是在公

元前280年左右由柏罗沙斯（Berosus）带到希腊的。在公元前二世纪科学开始衰退的时候，占星术就迅速流传开来，并且在波赛东尼奥（Posidonius）的影响下，开始了它的邪恶的生涯，直到哥白尼和牛顿的时代还没有结束。

为了逃避命运，人首先求助于上天，天上有不可胜数的天体，如彗星等，说明还有自由的余地。但是，巫术、祭仪宗教和基督教时代早期所谓的诺斯替教义[①]指出的三条道路，似乎更有希望一些。

诺斯替教徒认为，神向某些特选的灵魂启示了了解宇宙的秘钥，人如果能重新找到这个秘钥，他的灵魂就能得到自由，因为知识高于命运。

巫术差不多是随时都有的，但是，在纪元前二世纪，一个新的巫术浪潮随着占星术由亚洲流入欧洲，使人们以为有了控制自然、天神和星宿的希望。当时的纸草纸中充满了符咒的单方。

祭仪宗教是建立在史前期的模仿和通神的仪式基础上的，大39 半想通过保护神在人身上的附体来得救。保护神有许多名目，而且是死而复生的。我们说过，这些宗教在希腊老早就有了，但是随着奥林匹斯神话的地方神在希腊化时代国际气氛中崩溃，这些宗教又遍布世界各地。从公元前二世纪起，人们的宗教意识就深化了，在基督教兴起以前，他们的需要大半是靠祭仪宗教来满足的。

占星术、巫术和宗教可以吸引所有的人，但是，哲学和科学却只能吸引少数的人。希腊化时代的最有特色的和最重要的哲学是斯多噶派的学说。芝诺在纪元前317年以后不久，就开始在雅典讲

① 诺斯替教义（Gnosticism）是第一世纪至第六世纪基督教一派，用古波斯及希腊的神秘知识解释基督教义。——译注

学，他的理论传布开来，竟成了罗马的主要哲学。斯多噶派在理论上把物理学看做逻辑和伦理学的基础，但是，它同物理科学却没有多少直接接触。它的神学是一种泛神论，它的真正的意义和它的真正的力量在于一种高尚的和严格的道德观。

从科学史上来看，伊壁鸠鲁的学说要更为重要一些，因为虽然它所关心的问题主要是哲学问题，而不是科学问题，它却建立在德谟克利特的原子论的基础上。这样，它就保存了原子说，直到后来卢克莱修把原子说体现在诗篇中为止。

伊壁鸠鲁于公元前342年生于塞莫斯，于公元前270年死于雅典。他领导了一次反抗柏拉图和亚里斯多德的唯心主义哲学的反动浪潮。这种反动浪潮要求信仰一种把心灵和肉体对立起来的二元论。在伊壁鸠鲁看来，凡是存在的都是有形体的，虽然有些东西，如原子，是太小了，以致感官不能直接觉察到。人的灵魂只不过是一股热气，死亡是一切的结束。神是存在的，但是神象人一样是自然界的产物，并不是自然界的创造者；他们生活在完美的幸福和恬静中，值得人们崇拜，但并不能抱着恐惧心情，也不能抱着希望去崇拜他们。他们

不关心人类。
因为他们醉卧在旨酒旁边，
只有雷电在下面山谷中轰传。
他们的琼楼，神光四射，
周围有白云盘旋。

实在的唯一试金石是感觉；观念只不过是重复的感觉所引起的比较微弱的形象而已，这些形象储蓄在记忆中，并为名称所唤出。自然界的不那么明显的现象应该根据同类似现象的类比来解释。象在德谟克利特的方案中一样，自然界是由原子和虚空组成

的。我们的世界只不过是原子在无限的空间和无尽的时间中偶然的结合所造成的许许多多世界之一。

40 人类既无须服从反复无常的神的暴政，也无须服从巴比伦人和有些希腊哲学家所想象的冷酷无情的盲目的命运之神的摆布；人觉得自己多自由，他就多自由。人象神一样可以从外界的烦恼中引身而退，在心的宁静自在中追求严肃的快乐。谨慎的智慧胜过哲学。伊壁鸠鲁就这样把原子说和一种原始的感觉论当做基础，建立了一个即令是肤浅的，也是快活的乐观主义的学说。他的物理学是为他的伦理学服务的①。

演绎的几何学

亚里斯多德所以认为演绎推理的价值高于归纳推理，是因为希腊精神的最成功的产物就是几何学这门演绎科学②。几何学历史的详情不在本书范围之内，但是，在任何科学史中，它都必须占有一席之地，即令我们认为它不过是自然科学运用得最自如的工具之一。

几何学 (Geometry) 顾名思义③ 是从土地测量的实际需要中产生的。这一需要在埃及最大，也得到最充分的满足。因为在埃及，尼罗河定期淹没土地的界碑。相传，最早的爱奥尼亚哲学家米利都的泰勒斯在到埃及游历回来以后，就想到可以根据土地测量的经验规则，建立一门关于空间和形式的理想科学。第二大步似乎是由毕达哥拉斯及其门生迈出的。他们不但证明了一些新定理，

① Cyril Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus*, Oxford, 1928.

② See Whewell and Rouse Ball, *loc. cit.* Also G. J. Allman, *Greek Geometry*, Dublin, 1889.

③ 按 Geo 即地，Metry 即测量，故此字的意译应为测地学。——译注

而且还按照某种逻辑顺利把已知的定理排列起来。

公元前320年左右，罗德斯的欧德谟(Eudemus of Rhodes) 写了一部几何学史。这部著作的残篇仍然存在，从这一残篇中我们可以看出几何学命题是怎样逐渐增添起来的。公元前300年左右，亚历山大里亚的欧几里得把已有的知识搜集起来，加以发展和系统化。他从少数被认为是空间的不证自明的特性的公理出发，按照逻辑原理，推演出一系列奇妙的命题。他的办法直到不久以前还是公认的唯一方法。

我们现在可以从两个方面来看待几何学。第一，我们可以把它看做是一门观察和实验科学中的演绎步骤。从埃及土地测量的经验事实中，得到了某些公理和假设。它们好象是不证自明的，但是，事实上，它们是关于空间的性质的假说，是根据所观察到的现象，通过想象归纳的过程得到的。数理几何学就从这些假说中，按照逻辑推理，推演出无数的结论，如欧几里得的书和几何天文学中所载的就是。直到前不久为止，人们发现所有这些推论都是同对自然的观察和实验相符合的。接受了欧几里得空间的牛顿及其追随者的数理天文学，直到亚当斯(Adams)和列维烈 (Leverrier) 的时代为止，都高度精确地证实了这些假说。我们说过，从这个观点来看，几何学只不过是一门实验科学的演绎部分而已。 41

但是，我们还可以从另一角度去看它。普通观察给人的暗示是有某种空间。心灵接受了这种暗示，给一种理想的空间下了定义。这种理想的空间其实完全是所观察到的空间在人们心目中的样子。后来，心灵又给别的种类的空间下了定义——非欧几里得空间，这种空间或许是无法用物理学术语加以描写的。心灵既然得到了自己的定义，现在就可以自由地来展开这些定义的逻辑推论了，无需顾及什么符合自然，什么不符合自然。如果我们给空间

下的定义说空间有三维，我们就得到一套推论。如果我们假定空间,或者同空间相符合的东西，有 n 维，我们就得到别的推论。这是一场有趣的智力游戏,但是它必然同自然没有直接关系,也必然同实验科学没有直接关系，虽然在这场游戏中学到的方法以后或许会有用处。

这两种观点在本质上都是现代的。希腊的数学家和哲学家却盲目地接受了一种简单的直觉观念，把几何学的公理看做不证自明的事实。不过,不管我们怎样看待它的哲学意义,演绎几何学毕竟特别适合于希腊气质,同希腊思想的某些别的产物不同,它标志着知识的进步方面的一个永久性的一步。这一步是永远不必回头再走了。事实上,在人类智慧的胜利中,我们很可以认为希腊几何学和近代实验科学占有同等最高的地位。

阿基米得和力学的起源

力学和流体静力学的起源应该到实用技术中去寻找，而不应到早期希腊哲学家的著作中去寻找，但是当观察同在几何学中学到的演绎方法结合起来的时候,这两门科学就有了坚实的基础。把这两门科学放在坚实基础上的第一人是叙拉古的阿基米得(Archimedes of Syracuse,公元前287—212年)。他的工作比任何别的希腊人的工作都更具有把数学和实验研究结合起来的真正现代精神。在结合的时候,只解决一定的有限的问题,提出假说只是为了求得它们的逻辑推论,这种推论最初是用演绎方法求得的,然后又用观察或实验方法加以检验①。

我们说过，亚里斯多德还没有物体的相对密度的观念。首先

① Sir T. L. Heath, *Works of Archimedes*, Cambridge, 1897; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung*; John Cox, *Mechanics*, Cambridge, 1904.

明确地阐明这个观念的是阿基米得。此外，他还发现了所谓阿基米得原理：一个物体浮于液体中的时候，其重量等于所排开的液体的重量；一物沉于液体中时，其所失的重量也与所排开的液体重量相等。据说，希罗王 (King Hiero) 把黄金交给工匠制造王冠。王冠制成后，希罗王疑心王冠里渗了白银，就叫阿基米得加以检验。在思考这个问题的期间，阿基米得在沐浴的时候注意到，他所排出的水在容积上和他的身体相等，因而马上明白，合金比较轻，纯金比较重，同重的合金会比同重的黄金排开较多的水。这样，阿基米得就靠了一时的灵感，得出了阿基米得原理，但是，他后来又运用数学方法，从他对于液体的基本观念中，把这个原理推演出来。这个基本观念就是，液体是一种在任何剪力——哪怕是最小的剪力——面前都要退让的物质，所谓剪力就是使物质的一层与另一层错落滑动的力量。

阿基米得还研究了杠杆的理论原理。杠杆的实际应用一定是太古时代的事情了，在阿基米得的时代以前两千年，亚述和埃及的雕塑中已经有这方面的例证。今天，我们把杠杆定律看做是一件要由实验决定的问题，而且还从这个定律中推出更为复杂的结果来。阿基米得却是凭着希腊人对于抽象推理的热爱，从他所谓的不证自明的公理或用简单实验可以证明的命题中得出杠杆定律的。这两个公理和命题就是：(1)同重的物体放在和支点距离相等的地方，就保持平衡；(2)同重的物体放在和支点距离不等的地方，就不相平衡，其离支点较远的一端必定下坠。这些公理就其涵义来说，已经包含有杠杆原则，或与杠杆原理是一回事的重心原理。但是，把杠杆定律和当时人认为比较简单的道理统一起来，却是前进了一步。事实上，这就是最科学的解释的典型。因为科学解释按其本质来说，一般也就是用我们的心灵比较熟悉的现象来说

明新的现象。

阿基米得的主要兴趣是在纯几何学方面。他自己认为，他发现圆柱体容积和它的内接球体的容积的比例，是他平生最大的成就。他用内接和外切多边形的方法来测量圆周，逐渐增加多边形的边数，使其逐渐与圆周相接近。他用这个渐近的方法证明，周长与直径之比大于$3\frac{10}{71}$，而小于$3\frac{1}{7}$。他的许多著名的机械发明——复滑车，水力螺旋，火镜——在他看来不过是几何学家的玩意罢了。

阿基米得不仅仅是一个编纂者。他的著作差不多都是叙述他的发现的。他的观点具有现代精神。有一件事足以说明这一点。文艺复兴时代的最伟大的人物达·芬奇搜求阿基米得的著作抄本，比搜求任何别的希腊哲学家的著作抄本都更要热切。事实上，他的著作也险而失传。有一个时候，表面上看来，只有一部手稿保存下来，大概是九世纪或十世纪的抄本。可是，这个抄本老早就不见踪影了。幸而还有三个抄本没有遗失。现今流传的印刷本就是根据这些抄本排印的。

阿基米得是古代世界的第一位也是最伟大的近代型物理学家。他所发明的作战机械把罗马人阻于叙拉古城外达三年之久，公元前212年城破后，他被一个士兵杀死。到公元前75年，他的坟墓才被当时担任西西里的财政官的西塞罗 (Cicero) 发现，并加以虔诚的修缮。

阿利斯塔克和希帕克

公元前四世纪时，地理发现就已经有了很大进展。汉诺 (Hanno) 越过赫拉克列斯柱 (Pillars of Hercules)，航行到非洲西岸；毕特阿斯 (Pytheas) 绕过不列颠，驶向北冰洋，并且了解到月相

与潮汐的关系；亚历山大则向印度进兵。当时已经知道地球是一个球体，对它的真正的大小已经开始有了一些了解。这种知识的增进，对于菲洛劳斯关于对地星和中央火的说法是不利的，毕达哥拉斯派天文学中的这些部分从此就不为人们所相信了。不过，毕达哥拉斯派的最后一人埃克番达斯(Ecphantus)，却由于认识到昼夜的长短随纬度而不同，而形成了一个更简单的观念：地球在空间的中央绕着自己的轴而自转。公元前350年左右，旁托斯的赫拉克利德(Heraclides of Pontus)也宣扬过这个说法。他认为太阳和大行星绕着地球旋转，金星和水星则在太阳运转的时候绕着太阳运行。

塞莫斯的阿利斯塔克 (Aristarchus of Samos, 公元前310—230年左右)更大胆地前进了一步①。他是阿基米得的同代人，但较为年长。他在流传下来的《太阳和月球的大小与距离》(*On the Sizes and Distances of the Sun and Moon*) 一书中，非常巧妙地把一些几何学原理运用到这个问题上来。他首先考虑了月食时可以看到的现象，其次又考虑了月半圆时可以看到的现象，然后得出结论说：太阳直径与地球直径之比一定大于19:3，小于43:6，即约为7:1。这个数字当然太小，但是，他的研究原则是不错的，而且他能认识到太阳比地球大，这本身已经是一个惊人的成就了。 44

据阿基米得说，阿利斯塔克还提出一个假说，认为"恒星与太阳是不动的，地球沿着一个圆周的周边绕太阳运动，太阳则在轨道的中心"。普卢塔克也提到过阿利斯塔克的这个学说。为了解释恒星在地球运动的时候表面上不动，他正确地指出，这是由于恒星的距离同地球的轨道直径比起来极其巨大的缘故。

---

① Sir T. L. Heath, *Aristarchus of Samos, the Ancient copernicus, a History of Greek astronomy to Aristarchus*, Greek text and translation, Oxford, 1913.

这样一种认为太阳是宇宙中心的看法当时远远走在时代前面，因而得不到一般人的承认。据普卢塔克说，公元前二世纪时，巴比伦人塞鲁克斯（Seleucus）也满怀信心地持有这个信念，力求找到新的证明，极力为它辩护。但是，其余的人，连哲学家也在内，却仍然认为地球是宇宙的中心，不管他们把地球看做一个浮动的球体，天体都绕着它运行也好，还是把地球看做一个固定不动的无底的固体，象我们的感官所感到的那样也好。

阿利斯塔克的见解虽然富于革命性，但是，普通常识的压力和权威的份量是太大了。我们说过，公元前370—360年间，克尼多斯的欧多克索为了解释太阳、月球和行星的视运动，提出一个假说，宣称太阳、月球和行星都在一些以地球为中心的同心透明球体中运行。这个说法后来成为后世的天文学家，对地球中心说加以发挥的基础。公元前130年左右，希帕克把这个学说加以发展，制成一个体系。这个体系在公元127—151年间经亚历山大里亚的托勒密加以阐释后，就独霸天文学界，直到十六世纪为止。

希帕克生于比塞尼亚（Bithynia）的尼卡伊亚（Nicaea），公元前160—127年间先后在罗德斯和亚历山大里亚工作。他的著作只有残篇传世，但是，他的工作得到了托勒密的充分介绍。他利用了较早的希腊和巴比伦的记录；他发明了许多天文学仪器，并且利用这些仪器进行很多精确的观察。他是按照巴比伦的方式把天文仪器上的圆周分为三百六十度的第一个希腊人①。通常人们认为发现岁差的就是他，虽然施纳贝尔（Schnabel）认为首先发现岁差的是巴比伦人基德那（Kidenas）②。可以肯定，希帕克是知道基德那

① 为天文仪器，可看 Whewell, *loc. cit.* vol. 1. p. 193.

② Tarn, *loc. cit.* p. 241.

的研究成果的。希帕克估计的岁差是每年36秒，而实际的数值是50秒左右。根据他的计算，月球到地球的距离是地球直径的$33\frac{2}{3}$倍，月球的直径是地球直径的⅓，实际的数值分别为30.2和0.27。他发明了平面三角和球面三角，并且指出怎样去测量地球上各点的经纬度，从而确定它们的位置。

希帕克的天体演化学说在主要的基本假定方面都是错误的，因而在细节方面就十分复杂，但是，它在说明事实方面却十分成功。希帕克先假设地球是中心，然后说明，只要假定日、月、行星等每一个天体都在一个轨道，即本轮上运动，而这一轨道又在一个大得多的圆轨道，即均轮上，围绕着地球运行，就可以解释日、月、行星的视运动。根据直接的观察，可以确定这些均轮和本轮的位置和大小。然后，他又制出一些数字表，根据这些数字表就可以预测未来任何时候的日、月、行星的位置，并且可以相当准确地预测日食和月食。

从亚里斯多德的时代起，到伽利略发现惯性原理为止，天文学家面临的巨大困难是不知道该怎样解释天体的不断的运动。按照取代了柏拉图的看法的亚里斯多德的看法，不断的运动需要有一个不断的原动者；因此，亚里斯多德就假定有一个不动的原动者，具有更机械的头脑的人就觉得需要假定天空中有一些透明的球体载着天体在其均轮和本轮上运行。

按照现代的知识来看，我们很容易看不起这样的天文学，但是，事实仍然是，这个学说虽然复杂，它却能在好几百年中顺利地解释天文现象，并且指导从托勒密到第谷·布拉埃(Tycho Brahe) 46 等许多有资格的天文学家的工作。这个学说的主要发展必须归功于希帕克。不幸的是，赖着希帕克的大名维持的地球中心说容易助长占星术的愚蠢迷信。只要地球是中心，太阳和星星分别绕着

它运行，这些信念就是不可避免的。

相传，亚历山大湾内法罗斯岛上的灯塔中有一块玻璃，观看的人通过这块玻璃，就可以看见通常的视野以外的船只。康福德(Cornford)认为，如果真有这回事，如果真有某一位希腊哲学家放弃他对机械技术的偏见，制出一部望远镜的话，本来可以证明阿利斯塔克的正确见解，而科学史的面貌也就不一样了。

亚历山大里亚学派

到公元前四世纪末或三世纪初，世界的学术中心已经从雅典转移到亚历山大里亚。这个城市是亚历山大大帝在公元前332年建立的。他的一位将军托勒密(和天文学家托勒密不是一个人)在那里建立了一个希腊王朝，一直到公元前30年克里奥巴特拉(Cleopatra)死后才结束。在托勒密一世在位期间，即公元前323—285年，使亚历山大里亚学派光芒四射的人物中间，有几何学家欧几里得和解剖学家兼物理学家赫罗菲拉斯(Herophilus)。

在亚历山大里亚的希腊文明中，象在其他希腊化的土地上一样，出现了一种更富于现代气派的新精神。亚历山大里亚的人没有去建立雅典哲学家有出色表现的完备的学术体系，而是追随塞莫斯的阿利斯塔克和叙拉古的阿基米得的榜样，对有限度的和特殊的问题进行研究，因而在科学上也取得更加肯定的进步。

公元前三世纪中叶左右，亚历山大里亚建立了著名的博物馆(Museum)，这个词的本意是献给文艺女神缪斯(Muses)的殿宇。博物馆里设立了四个部门——文学部、数学部、天文学部和医学部。这四个部门不但是学校，而且是研究所，它们需要的图书完全由古代世界最大的图书馆供给。图书馆中藏书四十万册。图书馆的一部分在公元390年左右，为基督教主教德奥菲罗斯(Theophilus)所

毁，其余的部分在公元640年穆斯林侵入后，为伊斯兰教徒所毁，究竟是出于有意还是无意，就不得而知了。但是，有好几百年的时间，亚历山大里亚图书馆是世界上的奇迹之一。它的毁灭是历史上最大的文化浩劫之一。

在演绎几何学的题目下，我们已经讨论过欧几里得的工作。他把古来几何学家的著作加以系统化，并加入许多他自己的新的定理。他还对光学进行了研究，认识到光走直线，并且发现了反射定律。

47

医学方面的亚历山大里亚学派主要是靠了两个人的工作建立起来的。这两个人就是赫罗菲拉斯和埃拉西斯特拉塔(Erasistratus)。前者生于卡尔舍顿(Chalcedon)，在托勒密一世时代活跃于亚历山大里亚。他是最早的有名的人体解剖学家，又是希波克拉底时代以来的最伟大的医生。他的医学是经验性的，差不多没有任何理论成见。他对大脑、神经、眼、肝和其他内脏器官，以及动脉和静脉，都作了很好的描写；他认为智慧之府是大脑，而不象亚里斯多德所主张的那样是心脏。

埃拉西斯特拉塔是赫罗菲拉斯的同代人，但较为年轻。他进行过人体解剖，并利用动物进行实验。他对生理学有浓厚的兴趣，也是把它当作独立学科的第一人。他对大脑、神经和循环系统方面的知识有所贡献，并且认为人体和大脑里都有特殊的管道来输送血液和元气（πνεῦμα ζωτικόν）。他以为这元气便是空气。埃拉西斯特拉塔从伊壁鸠鲁接受了原子说的信条，反对医学上的神秘主义，虽然他也相信自然界作为一种外在力量发挥作用，按照它要达到的目的而构造人体。赫罗菲拉斯、埃拉西斯特拉塔和第三位解剖学家欧德谟使得他们那个世纪在医学史上成为一个值得注意的时代。

公元前三世纪末叶，出现了另一批伟大的人物。他们都是阿基米得的同代人,但都比较年轻。他们中间有埃拉托色尼(Eratosthenes)。他于公元前273年左右生在希林尼(Cyrene),公元前192年死于亚历山大里亚。他是博物馆的图书管理员，也是第一个伟大的自然地理学家。他认为地球是回转椭圆体的，并且估算了差不多处于同一子午线的两个地方,希恩(Syene)和麦罗(Meroe)的纬度和距离,从而算出地球的大小。他的计算结果是252,000“斯达第”(Stade),约等于24,000英里。他又算出太阳的距离是9,200万英里。这两个数字都同现代的估计数字24,800英里和9,300万英里惊人的近似。埃拉托色尼因为印度洋和大西洋的潮汐相似,而力持两洋相通之说,并且认为欧、亚、非三洲是一个岛屿,因此可以从西班牙出发绕过非洲南端航行到印度。推断大西洋被一块自北而南的陆地所隔开,因而启发辛尼加(Seneca)预言可以发现一个新大陆的,大概就是他。波赛东尼奥(Posidonius)后来反对这个看法,并且过低估计了地球的大小,说人向西航行70,000“斯特德”就可以到达印度。哥伦布的信心就是由此而来。

48

公元前二世纪后半叶,数学在亚历山大里亚有显著的进步。这是丕嘉的阿波洛尼乌斯(Apollonius of Perga)的功绩。他把欧几里得及其前人关于圆锥剖面的知识搜集起来，并用自己的工作大大推进了这门学科。阿波洛尼乌斯指出，所有的圆锥曲线都可以看做是一个圆锥的剖面;他还创立了抛物线、椭圆、双曲线等名称。他把双曲线的两段看做一条曲线，这样就说明了三种剖面的相似之处。他利用锥线法来解普遍的二次方程式，并且测定了任何圆锥曲线的渐屈线。他纯粹是从几何学角度来讨论整个这个学科的。

在公元前二世纪的亚历山大里亚，我们又遇到了希帕克。他

在天文学方面的伟大成绩，我们已经叙述过了。到这时，亚历山大里亚已经失去垄断希腊学术的最高地位，而与罗马和帕加马(Pergamos)共分荣誉。在公元前第一世纪到公元三世纪之间某一不能肯定的时期内，有希罗(Hero)其人出现。他是一位数学家、物理学和发明家。他找到了一次方程和二次方程的代数解法，并且制订了许多测量面积和体积的公式。他指出，光的反射线的路径是最短的路径①。但是，他所以为后人所纪念，主要是因为他的机械发明，如虹吸器，测温器，空气抽压机和最早的蒸汽机。这种蒸汽机利用管口喷出的蒸汽的反撞力，使带有喷气管的臂在一个轴上旋转，可以说是喷气式飞机的前身。

希腊-罗马时代晚期的亚历山大里亚科学扬名于世的主要人物是天文学家托勒密(Claudius Ptolemy)②。这人不可与同名的埃及国王相混。公元127年到151年间，他在亚历山大里亚授徒，并且进行了一些观察。他的主要著作《天文大全》(*μεγάλη σύνγταξις τῆς ἀστρονομίας*)，后来采用阿拉伯语的简称，称为《至大论》(*Almagest*)，是天文学的百科全书。它是根据希帕克的研究成果并加以发挥写成的，在哥白尼和刻卜勒的时代以前，一直是标准的论著。这部著作论述更为详尽，并观察到不少新现象，如月球运行中的二均差，但对希帕克制订的理论并没有作重大改变，书中所描写的新仪器似乎也只有墙壁象限仪。托勒密，象他的老师一样，改进并发展了三角学，一意要把他的工作建立在“算术和几何学的无可争论的方法”之上。他重述了一条原则：在解释现象的时候，采用一种能够把各种事实统一起来的最简单的假说，乃是一条正路。

49

① G.Sarton, *History of Science*, vol. Ⅰ, 1927, p.208; *Isis*, No.16, 1924.

② 《大英百科全书》G. J. Allman, Sir E.H.Bunbury and C. R. Beazley, art. "Ptolemy", in *Encyclopaedia Britannica*.

这个原则到后来却成为用来反驳托勒密加以总结的地球中心说的主要武器。

托勒密不但是天文学家，而且还是地理学家①。他在地理学方面的影响直到十五、六世纪有了许多海上发现以后，才渐渐消除。在托勒密之前不久还有一位地理学家，名叫泰尔的马利纳斯(Marinus of Tyre)。他的著作没有单独传世。所以很难断定有多少成绩属于托勒密，有多少成绩属于马利纳斯。托勒密坚决认为，在测量和绘制地图时，必须先对经纬度进行正确观察，然后才能取得圆满的成果。这样，无疑就把地理学置于稳固的基础之上。但是，在实行这个计划时，他自己所掌握的材料却极不充分，因为当时还没有什么方法可以精确地测量经度。尽管这样，托勒密的地图仍然是有趣的。它们把商人和探险家带回的资料综合起来，绘出了一个从马来半岛沿海和中国海岸直到直布罗陀海峡和幸运群岛，从不列颠、斯堪的纳维亚和俄罗斯草原直到尼罗河发源处某一不明的湖泊地带的世界。他的一般处理方法是一个天文学家的处理方法，而不是一个地理学家的处理方法，因为他并没有记载气候、出产，甚至没有记载今天的自然地理所包括的许多东西；他也没有更多利用当时从军人的"行军记录"中一定可以得到的关于罗马帝国各地的描写和记载。

有一本讲光学的书据说也是出自托勒密的手笔。这部著作只有一个在十二世纪从阿拉伯语译过来的拉丁语译本，究竟是不是他的著作，很难断定。书中载有关于折射——包括大气折射在内——的研究材料。萨尔顿②认为这是"古代最惊人的实验研究"。

① 关于托勒密的地理学与地图有 J. Fischer, S.J. and E. L. Stevenson 的版本书评，见 *Isis*, No.58,1933。

② *History of Science*, vol. Ⅰ, 1927, p.274; *Isis*, No. 16, 1924, p,79.

作者发现，在光线从一种媒质进入另一种媒质中的时候，入射角和折射角成正比。这种比例在角度不大时，是近似正确的。 50

尽管在真正的科学上成绩斐然，令人奇怪的是，托勒密似乎还写了一部讨论占星术的书。但是，大致就在那个时候，古典的神已经从奥林匹斯山移到天上，木星、土星、火星、水星、金星等行星仍然在主宰着人类的命运。自然占星家（即天文学家）观察天象并制成天文记录，负责判断的占星家则根据对星宿的研究，按命宫图推出神对人事的指导。托勒密的占星术大概同他在中古时代的欧洲的长期影响很有关系，事实上，在一个非科学的时代，除了通过试验方法外，要断定星宿对人类历史没有影响，是不可能的。

炼金术的起源

在希腊化的亚历山大里亚的实用活动和学术活动中，我们可以找到炼金术的起源。最早的希腊炼金术士大概出现在公元一世纪，但是，我们所知的最古的炼金术著作是时代不明的所谓伪德谟克利特（Pseudo Democritus）和佐息摩斯（Zosemos）的著作。佐息摩斯在公元三世纪或四世纪活动于上埃及。还有一些著作据说是赫米斯（Hermes Trismegistos）（同埃及栲特神相当的希腊神）的著作，大概是三世纪的产物。这些著作主要是讨论柏拉图和斯多噶派的哲学，但也包含不少占星术和炼金术，后来以拉丁语译本著名于世。

要了解炼金术的起源，我们必须了解亚历山大里亚各种技术的状况和哲学气氛[①]。在前几个世纪中，各地中海国家都出现了一种工业，利用早期的化学方法来制造价格高昂、人民无力购买的

① A. J. Hopkins, in *Isis*, No.21, 1925, p.58.

那些物品的膺品。人造珍珠，同价格昂贵的泰尔紫可以比美的廉价染料，状似金银的合金，全都成了商品。

炼金术从很早的时候起，就和当时其他思想领域，特别是占星术联系着。太阳滋育万物，在大地中生长黄金。黄金是太阳的形象或原型。银白色的月亮代表白银，金星代表铜，水星代表汞，火星代表铁，木星代表锡，土星是五个行星中最远最冷的一个，代表最重最阴暗的金属铅。

柏拉图在《蒂迈欧篇》中阐述的哲学是一种完备的一元论的唯51心主义；它所着重提出的学说是，物质是感觉世界中一个必要但在本质上并不重要的要素，从根本上来说物质只有一种。一切东西如果不体现一种理想，就谈不上真正存在，因而也无所谓好坏；万物都是有生命的，并且力求提高自己（这是后来诺斯替教引伸出的说法）。炼金术士相信，物质本身并不重要，但是它的特性却是实在的。人的肉体是同一种材料做成的，人的善恶并不是由于改变他们的肉体造成的，而是由于改变他们的灵魂造成的。因此，改变金属的特性，就可以改变金属。他们说，工匠对这一点是有深切体会的。事实上，特性就是金属。凡金属都力求朝着不怕火炼的黄金的理想灵魂提高自己，因此，在这条道路上助它们一臂之力，应该是很容易的事。当时已经知道，染色所用的媒剂能够侵蚀金属，因此，如果在一种贱金属中加入少量黄金的话，就可以用染媒剂浸蚀这种合金，留下一层金色的表面。他们以为，这样一来，作用和酵母一样的那种贵重金属就克服了合金的下贱性，使之具有了黄金的灵魂。

贵金属的主要特性在于它们的色彩——白银的白色，黄金的黄色。铜经过化学处理就可以变成黄色，因此也就变成了黄金。他们以为要做到这一步有两种方法：一是把下贱的土质除去，这样也

就除去了生锈的倾向；一是通过改善它的火色或色彩，使其中较好的元素气与火有所增加。当死物质得到色彩灵魂的时候，它就变活了，象人得到了灵魂一样。

实用炼金术通常经过四个步骤。（1）把锡、铅、铜、铁熔合成一种黑色合金，在这种合金中，锡、铅、铜、铁就都失去了自己的个性，溶合成为柏拉图所说的第一物质的"一体性"。（2）加入水银、砷或锑，使铜变成白色，从而和白银相仿。（3）然后加入少量黄金"酵母"，再用硫磺水（即硫化钙）或染媒剂处理这种白色合金。这样，合金就呈现黄色——在亚历山大里亚的炼金术士看来，这就真的变成黄金了。在他们看来，物质的本质不在于它的质量和它的具体的物理特性和化学反应（在我们看来，应该是如此），而在于亚里斯多德所说的色彩等很容易改变的特性。因此，如果一种金属具有了黄色和光泽等黄金的基本特性，它也就变成了黄金。亚历山大里亚的炼金术士和后来的一些炼金术士不同，他们既不是傻子，也不是骗子。他们是按照当代最好的哲学进行实验的；过错不在他们，而在于那种哲学。

炼金术在亚历山大里亚流行了三百年左右，后来就停止了，有人说，是罗马皇帝戴克里先（Emperor Diocletian）下令停止的。公元292年，戴克里先下令把所有讨论炼金术的书籍都加以焚毁。 52
后来，炼金术又在别的地方复活，先是在阿拉伯人中间复活，后来又在欧洲复活。但是，到那时候，炼金术所依据的哲学已经有了改变，因此，后来的著作家既不懂得亚历山大里亚人的术语，也不懂得他们的精神。他们企图按旧的单方造出黄金来，殊不知"黄金"和"变化"两词的意义在这段时间中已经随着哲学而改变了。他们大半都用一大堆神秘字眼来掩盖他们的失败，到后来，真正的科学化学才开始从他们的堕落了的炼金术中脱颖而出。

占星术和炼金术都有一个根本性的基础，那就是对自然的观察和理性的思想，虽然这种思想大半是错误的；因此，占星术和炼金术在天文学和化学的早期发展中都起了真正的和高尚的作用。另一方面，除了在原始人民中间外，巫术却从来都不是高尚的，它只不过在心理上影响人们采取轻信态度和迫切追求眼前的不负责任的力量罢了。巫术同科学的起源也未尝没有关系，但是它的精神同科学精神是肯定背道而驰的，因为科学总是要去慢慢地、谨慎地和虚心地追求真理。在希腊化的时代，巫术迷信发展起来，古代的科学也就衰落了。在后来，科学所以能够复兴，也并不是因为人们相信巫术，而是因为人们对巫书的信仰并不能阻止科学前进[①]。

罗马时代

在古代世界，差不多只有希腊人才具有独创的科学思想。按照自然之理，看起来好象意大利的居民成份和希腊的居民成份在性质上一定是相似的。但是，两国人民在发展和成就上却很不相同，说明种族也是不同的。罗马人虽然擅长治理国家，在军事、行政和立法方面有优异的能力，但在学术方面却没有多少创造力。当然他们也编纂了许多著作，说明他们对于自然界的对象也有很大好奇心。他们的艺术，他们的科学，甚至他们的医学，都是从希腊人那里借来的；当罗马成为世界的霸主的时候，希腊哲学家和希腊医生都退隐到台拍河 (Tiber) 两岸，不过，在那里，他们也并没有建立任何可以继承雅典学派的遗风而无愧色的希腊哲学学派。罗马人似乎只是为了完成医学，农业，建筑或工程方面的实际工作，

① Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, 2 vols. New York, 1923. 并看 G. Sarton在 *Isis*, No.16, 1924, p.74里的书评。

才对科学关心。他们使用知识之流，而不培其源——为学术而学术的源泉——，结果，不到几代，源与流就一起枯竭了。 53

保守的罗马人竭力反对希腊思想未来的霸权。这种情绪在监察官喀托(Cato the Censor，公元前234—149年)的著作中流露出来。这个喀托是另一个比较有名的喀托的祖父。老喀托在晚年写出了第一部拉丁语农业论著，附带地向我们提供了一些有关罗马医学的资料。大约在同一时候，巴比伦人戴奥晋斯(Diogenes)把斯多噶派的哲学带到罗马。这个学说，后来加上波赛东尼奥学说中柏拉图主义的要素，变成了罗马所特有的哲学，历时三百年之久，在马可·奥里略皇帝(Emperor Marcus Aurelius)的著作中登峰造极。波赛东尼奥所以值得后人纪念，还因为他是一个游历家，天文学家，地理学家和人类学家。他以太阳和月亮的联合作用解释潮汐；事实上，天体对地上事物的影响似乎就是他的哲学的本质。他把宙斯放在命运之神上面；他的观点带有宗教色彩；但是他相信卜筮和占星术，在向欧洲传布这些思想方面，他所出的力或许比任何别的人都多。他注释过柏拉图的《蒂迈欧篇》；他的科学也象柏拉图的科学一样，是从他的哲学中推演出来并为他的哲学服务的。

两代以后，到公元前一世纪，罗马人就征服了全世界，但是希腊的学术也征服了罗马人。罗马法律学家和政治家西塞罗(Marcus Tullius Cicero，公元前106—43年左右)，在创立拉丁语的哲学语言和普及希腊哲学方面，有很大贡献。他写过一部讨论宇宙哲学的著作《神性论》(*de Natura Deorum*)，其中载有不少关于当时的科学知识的资料。他还提出一个有关人体的目的论的学说，并且多次对迷信和巫术仪式进行有力的抨击。

希腊的科学哲学——原子论——在《物性论》(*de Rerum*

Natura）长诗中得到卢克莱修（Titus Lucretius Carus，公元前98—55年左右）的阐释和赞美[①]。这篇长诗，象西塞罗的某些散文一样，目的在于打倒迷信，推崇以原子哲学和机械哲学为代表的理性。从一个方面来看，卢克莱修加上伊壁鸠鲁，还不及留基伯和德谟克利特富于现代精神，因为他的元始原子不向四面八方运动，而是靠自己的重量，穿过有限的真空，以同等速度，向一起聚拢。卢克莱修的诗篇中没有任何新的思想，但是，它利用原子论者的见解，以富丽堂皇的词藻宣布，因果性原理支配着万物，从看不见的水蒸汽的蒸发，一直到为宇宙的发光的精壁所包围的天体的庄严运动都是如此。

这个世纪的最伟大的人物是凯撒（Gaius Julius Caesar，公元前100—44年）。我们所以主要对他感到兴趣，是因为他在索西吉斯（Sosigenes）的技术帮助下，修订了儒略历法（Julian calendar），以$365\frac{1}{4}$天为一年。这个估计数失之过大，渐渐引起时日和季候的差异[②]。但是，这个修订了的历法在欧洲一直流行到1582年，当时误差达到十天。到那时，教皇格雷哥里十三世（Pope Gregory）才下令加以纠正。在苏格兰，1600年就加以纠正，但是，在英格兰，到1752年才加以纠正。凯撒还计划在罗马帝国全国进行测量。后来阿格里帕（Agrippa）把这个任务付诸实行，并把测量结果绘入一幅世界大地图中。

公元20年左右，旁托斯的阿玛息亚的斯特拉波（Strabo of

---

① H. A. J. Munro, *Lucretius, Text, Notes and Translation*, 3 vols. 4th ed. London, 1905—1910. 并看 references for Democritus 同书第21页及 E. N. da C. Andrade, *The Scientific Significance of Lucretius*, introduction to Munro's *Lucretius*, 4th ed. 1928.

② 儒略历以365又$\frac{1}{4}$日为一年，较之实际长了11分钟，在东欧各国沿用至近代；儒略历和季节的差异，到现在达13日之多。——译注

Amasia in Pontus)用希腊语写了一部全面的地理学著作。这部著作对当代的其他科学也有所说明。罗马人东征西讨，自然使人们对地球表面的知识不断增加，描写帝国道路的旅行指南也在这时开始出现。

维特鲁维奥(Vitruvius)写了一部建筑学论著,其中详细叙述有关的物理学知识和技术知识。他已经了解声音是空气的振动，并且对建筑音乐学作了说明。这是关于建筑音乐学的已知的最早的说明。

罗马军人和工程师弗朗提努(Sextus Julius Frontinus，公元40—103年)对流体力学提出一些有益的见解。他做过罗马导水管监察官[①]。他谈到了罗马的给水工程,并且由实验中发现,水由管口流出时,水流的速度不但决定于管口大小,而且决定于管口在水面下的深度。

味吉尔(Virgil，公元前30年左右)在《农事诗》(*Georgics*)中描写农事技术和农事的诗意。瓦罗(Varro)也写过一本关于农事的书,其中记载了观察植物生长的结果,并且暗示疾病的传染是由于肉眼看不见的微生物所致。

公元14年左右,在奥古斯都治下,罗马建立了第一所公立的希腊医学校。当代最好的医生是塞耳苏斯(Celsus)。他在提比利乌斯(Tiberius)在位时期,用拉丁语写了一部重要的内外科医学论著。这是我们关于亚历山大里亚的医学史和当代罗马医学史的知识的主要来源。塞耳苏斯描写了很多惊人地符合现代精神的外科手术,在医学上采取了中间路线,在古代的经验学派和方法学派之间不偏不倚,既相信理论，又相信观察。他的著作在整个中古时代遗

55

① 《大英百科全书》Art. "Hydromechanics", 9th ed.; G. Sarton, *loc. cit.* p.255.

失了，后来又及时重新发现，使文艺复兴时代的医学受到影响。

在公元一世纪中叶左右，第奥斯科理德(Dioscorides)，一个植物学家和军医，写了一部关于植物学和药学的书，叙述了六百来种植物及其药性①。

在公元一世纪后半叶，学术的复兴在一定程度上已经出现了。有一位罗马公民老普林尼(Pliny，23—79年)，尤其值得我们追念。他写了一部《自然史》(*Naturalis Historia*)，共三十七册。这是一部包罗了那个时期的全部科学以及一系列被遗忘的希腊和罗马著作家的知识和信念的百科全书②。他从总的宇宙理论开始，一直讲到地球和它的内容。他认为宇宙是由天空和空间中的星体组成的，都是神的表现。然后，他就讲到地理，讲到人和人的身心特性，讲到动物，飞鸟，树木，农业，森林，园艺，酿酒，金属的性质和用途，以及美术的起源和实践。他又同样深信不疑地讲到狮子，独角兽和凤凰的自然生活史，不能把现实的东西和想象的东西，真实的事情、可信的事情和不可能的事情区别开来。他替我们保留了当时的一些迷信，诚心诚意地叙述了各种巫术的实践和功效。但是，我们必须记得，他是为了追求自然知识而贡献出自己的生命的。这是他的光荣。当维苏威火山大爆发，毁灭了庞培城(Pompeii)和希尔姑兰城(Herculaneum)的时候，他正在统率罗马海军。他上岸去观察这次翻天覆地的变化，深入险地，终于为暴雨般落下的火山灰所掩埋。

---

① G. Sarton, *loc. cit.* p. 258; Goodyear 英译本(1655); R.T.Gunther, Oxford, 1934. *Isis*, No. 65, 1935, p. 261.

② Text ed. by L. von Jan and K. Mayhoff, 5 vols. Leipzig, 1906—1909; Eng. trans. J Bostock and H. T. Riley, 6 vols. London, 1885—1887; H. N. Wethered, *The Mind of the Ancient World*, London, 1937; E. W. Gudger, *Isis* Ⅵ, 269.

我们关于希腊哲学家的知识，事实上还有关于希腊哲学的知识，很多是从《哲学家列传》(*Lives of the Philosophers*)所保存的资料中得来的。这本书是二百年后第欧根尼·拉尔修 (Diogenes Laertius)所写的。但是，我们也从普卢塔克 (50—125年左右)的著作[1] 中，得到一些资料。他在自己的著作中谈到月球的构造，并且叙述了罗马的神话[2]，提出了对各种宗教进行比较研究的主张。我们还必须提到当代的另外两位历史学家，即约瑟法斯(Josephus，37—120年左右)和塔西陀 (Tacitus, 55—120 年)。前者写了一部犹太人的记录，后者是早期不列颠和日耳曼的政治和社会历史的重要拉丁权威。

在后来的三十年中，当天文学家托勒密在亚历山大里亚工作的时候，希腊医学在亚历山大里亚、罗马以及到这时已经成立起来的其他学校里，兴盛一时。从在这些学校里工作的医生那里，我们可以找到一条从古代世界最著名的医学家希波克拉底到卡帕多西亚的阿勒特奥斯 (Aretaeus of Cappadocia) 和他的更著名的同代人盖伦(Galen，或 Galenus)的学术上一脉相传的线索。

盖伦在公元129年生于小亚细亚的帕加马，在罗马等地行医直到200年[3]。他把希腊解剖知识和医学知识加以系统化，并且把一些分裂的医学学派统一起来。他对动物和一些人体进行了解剖，并且在解剖学、生理学、病理学及医疗学方面，发现许多新的事实。他在活的动物身上进行实验；由此考察了心脏的作用，并且对脊髓进行了研究。据萨尔顿说，这是古代最值得注意的两个实验之

---

[1] Text with Eng. trans. by B. Perrin, 6 vols. London, 1914—1918.

[2] *The Roman Questions*, Eng. trans. and notes by H. J. Rose, Oxford, 1924.

[3] G. Sarton, *loc. cit.* p.301; Sir T. C. Allbutt, *Greek Medicine in Rome*, London, 1921.

一①。在哲学方面,他认为一切都是由上帝决定的,人体的构造也是上帝为了一个可理解的目的形成的。盖伦的医学学说同原子论者及他们的追随者的机械观点相反,它的基础是这样一个观念:人体各部分都贯注着不同种类的元气。盖伦的 πνεῦμα ψυχικόν 译成拉丁语是 *spiritus animalis*,这样就变成我们所熟悉的"animal spirits"(动物元气)。这个词的意思有时或许被人误解了。盖伦所以享有盛名并影响医学界达一千五百年之久,并不是由于他的真正伟大的观察和实验,也不是由于他的医术高明,而是由于他从这些观点中用论证方法十分微妙地推出一些教条,并且权威地加以阐释。他的有神论的心理态度既能吸引基督教徒,又能吸引伊斯兰教徒,也是他的影响巨大而持久的一部分原因。

他的关于人体功能的一般理论在哈维 (Harvey) 发现血液循57 环以前,一直盛行不衰。盖伦认为,血液是食物在肝脏内变成的,然后就和"天然元气"("natural spirits")混合,得到富于营养的性质。一部分血液经过静脉管流入身体各部,并经过同一条道路再流回心脏,象潮汐那样涨落不已。其余的血液,经过隔膜中不可见的细管由心脏的右边流到左边,在那里和肺吸来的空气相混合。靠了心脏的热力,它带上了"生命元气"("vital spirits");这种较高级的血液又通过动脉管在身体的各部分涨落,从而使各种器官能够发挥它们的生活功能。在大脑中,这种活力血液生出"动物元气"。动物元气是纯粹的,不和血液混合,它能沿着神经流动,促成运动和人体各种高级功能的实现②。

这个生理学体系距离真理当然是很远的,虽然就盖伦的知识

① *Isis*, No. 16, 1924, p. 79.

② Sir Michael Foster, *History of Physiology*, Cambridge, 1901, p.12.

来说，它是惊人的巧妙而成功。不幸，在世人的眼中，盖伦的学说竟比他的自由的探讨精神更为重要，所以，在文艺复兴之后，他的权威才把生理学的道路堵塞了，直到哈维鼓起勇气把它抛在一边为止。

罗马人在理论科学方面成就很少，但是在实践方面却值得注意。罗马的卫生和公共保健事业都安排得很好。清洁饮水用巨大的导水管引到市区内，市内设立有公共医疗系统和医院，军队中设立有医官。

学术的衰落

医学校继续开办着，但是，从盖伦的时代起，或者从更早的时候起，古代世界的一般科学和哲学就有了最后趋于暗然无光的清晰迹象。除了公元三世后半叶亚历山大里亚的第奥放达斯（Diophantus）是希腊最伟大的代数学著作家以外，没有一个第一流的人物。在第奥放达斯的时代以前，代数题要么用几何学的方法来解，要么用言语的推理来解①，到第奥放达斯才开始采用一些简单的符号，来代替不断重新出现的量和运算方法。因此，简单的方程式和二元二次方程式他都能解。他还谈到未知量的数目超过方程式的数目的不定式问题。

这项成果是代数学开始成为独立学科的标志，但是，在第奥放达斯以后，古代世界对科学知识就再没有重大贡献。在罗马帝国头三百年间，罗马法的伟大成就登峰造极，但是，罗马政权还没有衰微，科学就显然已经和哲学思想的其他部门一起差不多停滞不

58

① Sir Thomas L. Heath, *Diophantus of Alexandria, a Study in the History of Greek Algebra*, 2nd ed. Cambridge, 1910; Paul Tannery, papers in his *Memoirs*, 1879—1892; W.W. Rouse Ball, *History of Mathematics*, London, 1901, p.107.

前了。知识没有进步，人们唯一的工作只是写些注释和撮要，主要是希腊哲学家的注释和撮要。在这些注释家当中，我们必须提到阿弗洛底西亚的亚历山大(Alexander of Aphrodisia)。他在公元200年左右担任吕克昂学院的院长，并且力求保存纯粹的逍遥学派的理论。在一切科学理论问题上，甚至在实际事实问题上，亚里斯多德仍旧被认为是最高权威，不过当时流行的形而上学的哲学，却是通过更神秘的新柏拉图主义学派，从柏拉图那里得来的，至少在当时居于支配地位的亚历山大里亚学派中是这样。亚历山大里亚当时成了新柏拉图主义学派的中心。大约在四世纪初，哈尔基狄(Chalcidius) 用拉丁语为柏拉图的《蒂迈欧篇》写了一部注释。这部书差不多成了中古时期关于柏拉图的知识的唯一来源，在亚里斯多德的著作被遗忘的几百年中，它给中世纪带来了一种自然哲学，当时的异想天开的见解有许多就是从那里来的。

我们说过，亚历山大里亚学派的科学工作几乎全部是由希腊人的后裔来继承的。但是，居民中间的其他成分慢慢地也开始发挥他们的作用，尤其是在比较富于形而上学性质的各哲学分支中。在这些非希腊的成分中，最重要的成份之一是犹太人。在亚历山大里亚出现了一个新的思想学派，它一方面受到希腊化文化的影响，另一方面又受到犹太和巴比伦的传统的影响。我们不要忘记，当犹太民族从巴比伦人的奴役下解放出来时，回到巴勒斯坦的犹太人为数很少，相对来说是很小的一部分，有不少人都在小亚细亚和地中海东部沿岸各城市定居下来，经营商业，在整个东方建立了一个商业、政治和文化方面的通讯网。亚历山大里亚成了散布在各处的这个民族的商业和文化中心，耶路撒冷则成为他们的宗教中心。因此，亚历山大里亚就成为希腊哲学和东方宗教，尤其是犹太教和基督教的最早的重要会合点。很多早期的希腊籍基督教神

父都住在亚历山大里亚，或从那里得到他们的哲学。正是靠了他们,很多希腊哲学才保持住自己的活力，并且在犹太思想、希腊思想和基督教思想的综合中占有一席之地。这一综合后来就形成了教父神学。柏拉图的思想,在较小程度上还有亚里斯多德的思想，50 就这样进入了早期的基督神学中，而且早在教会人士还没有想到它们的来源之前,就已经在中古时代的欧洲流行开来了。因此,当希腊著作家的著作后来重新发现的时候，教会人士看到平常习见的基督教义的原型早就包含在这些异教哲学家的著作中，自然不免感到惊奇。

虽然早期的教父就生活在这个时期中，虽然他们的著作成为中古时代的宗教和古典哲学中比较富于形而上学色彩的要素两者之间的桥梁，我们最好还是把他们的工作及其对科学思想的影响留到下一章中再作简短而必要的叙述,原因是,他们同古代世界的数学科学或观察科学,关系不大。

第二章　中世纪

60

中世纪——教会神父——黑暗时期——欧洲的改造——阿拉伯学派——欧洲学术的复兴——十三世纪——托马斯·阿奎那——罗吉尔·培根——经院哲学的衰落

中世纪①

不久以前，“中世纪”一词还是指自古代文化衰落到意大利文艺复兴一千年的整个漫长时间。但近来人们怀着新的兴趣对十三、十四世纪的历史、艺术和宗教进行研究的结果，使我们清楚认识到那时已有一种新文明出现，因而现在人们往往把“中世纪”一词只用于指“黑暗时期”以后文艺复兴以前的四百年间。

可是，在科学历史家看来，原来的历史分期法也有它的优点。西欧的“黑暗时期”正好与有些不久便被阿拉伯人征服的亚洲国家学术异常兴盛的开始期同时。波斯与阿拉伯学派的学说原来都是以希腊古籍的译本为依据，但后来它对于自然科学也有可观的贡献。欧洲从阿拉伯人学到不少的东西，阿拉伯的学术在公元800至1100年间达到了它的兴盛期。但那时以后科学的活动主要是在

① 要知中世纪思想的一般情况，可参看（1）H. F. Stewart, “Thought and Ideas”, in *Cambridge Mediaeval History*, vol. 1, ch. 20;（2）H. O. Taylor, *The Mediaeval Mind*, 2 vols., New York and London, 1911 and 1914。要知史事及参考资料直到公元1300年，可参看 G. Sarton, *Introduction to the History of Science*, vols I, II, Baltimore, 1927, 1931。

欧洲。十三世纪由于希腊古籍的完整版本，特别是亚里斯多德的著作重新发现，知识领域里有了很大的进展。不过一直要等到文艺复兴时期，西方人才开始用批判的眼光去检查希腊哲学，或用新的实验方法去寻找自己的道路。因此，1100年以后的时期，象以前的黑暗时期一样，在科学史家看来，只是一个预备时期。这两个时期是同一整体的两个部分，不妨合拢来看，虽然在政治、文学或艺术的历史学家看来，它们是不同而可以分开的。因此，对我们而言，"中世纪"仍有其原来的意义——由古代学术衰落到文艺复兴时期学术兴起的一千年；这是人类由希腊思想和罗马统治的高峰降落下来，再沿着现代知识的斜坡挣扎上去所经过的一个阴谷。在宗教以及政治与社会结构方面，我们和刚才脱离的中世纪还很接近，但在科学方面，反而更接近于古代。我们透过雾气迷漫的山谷去看过去，感觉远处峰峦比近处地面更加清晰。 61

教会神父

要明了中世纪的欧洲在自然知识方面不能有所进步的原因，我们必须探讨中世纪思想的发展。首先，我们必须了解早期神父们按照犹太经典、希腊哲学以及祭仪宗教和它们背后的原始仪式建立起来的基督教神学与伦理学的一般轮廓。其次，我们必须探索以后每一个时代里这些教义为了与异教或异端斗争而发生的种种变化。这样，我们才会了解为什么教父的基督教和中世纪早期的基督教，在精神上对于世俗学问采取仇视态度，为什么哲学成了神学的婢女，为什么自然科学不复存在于世上。

早期的希腊哲学坦率地建立在对可见世界的观察基础上面。到了苏格拉底和柏拉图手中，哲学的探讨更进一层，从现象问题追

究到背后的实在，从自然哲学走到一种带有唯心主义和神秘主义倾向的形而上学。“希腊人的心灵被自己的创造迷住了”。在柏拉图看来，外界的事实，无论是自然界的、人生的和历史的，只有为心灵所领会时才成为实在。这些事实的意义必然在于这些事实的与心灵的首尾一致的概念体系相吻合的那一方面，因为只有这样，事实才能为心灵所思考，也只有这样，它们才能存在。凡不能想象的，老实说也都是不可能的。

这样一种哲学，显然不能促进对于自然或历史的正确而无偏颇的观察。宇宙的结构必须与柏拉图的哲学的理念相适合；历史本质上只是增加论证的生动性和提供实例的一种工具。

亚里斯多德对于观察自然界比柏拉图感兴趣，但是即令就亚里斯多德来说，他的力量也是用在形而上学与逻辑学方面多，用在科学方面少；而在科学方面又是用在生物学方面多，用在物理学方面少。他首创逻辑学这门学科，而在生物学上无论如何表现了客观的观察方法。他的物理学不象德谟克利特的那样客观，是在原子及真空中寻找事物的终极本性。在亚里斯多德看来，用来解释自然界的概念必然是物质、本质、物体、形式、数量、质量——这些范畴都是为了按照人的心灵固有的观念去表达人们对于世界的直接的感官知觉而制订出来的。在黑暗时期开始的时候，亚里斯多德的著作的不完善的撮要，是当时可以得到的希腊资料中最科学的，他的影响虽然不小，但慢慢地也就不再具有支配力量了。到六世纪他的著作已不时行，此后七百年间，所遗留下来的，差不多只有别人给他的逻辑学所作的注释。

斯多噶派的哲学，通过马可·奥里略的著作为我们一部分人所熟知。它对于罗马人的心理特别合适，在估计教父派神学家所利用的不同的思想潮流时，对斯多噶派的哲学不能加以忽视。

在斯多噶派看来，中心的实在是人的意志。形而上学和自然知识，只有在为斯多噶派的哲学服务，即作为生活与行为的指针时，才有其重要性。斯多噶主义基本上是一种伦理哲学，它使物理科学离开正确的观察，以便与道德的成见相适合。

由柏拉图创始的思想学派，到新柏拉图派，升到更加超理性的高峰。他们的哲学是后来的异教的最后产物。从亚历山大里亚的普罗提诺(Plotinus，卒于270年)的时代到波菲利(Porphyry，卒于300年)及杨布利柯(Iamblichus，卒于330年左右)，哲学越来越远离物理与实验，越来越接近神秘的观念。普罗提诺纯粹生活在“为偶尔的狂喜所温暖的形而上学”的领域之中，在他看来，只有对于“绝对”的超理性的默想才是最高的善。在波菲利的著作中，尤其是在杨布利柯的著作中，这些神秘的见解进入实际的生活，而它们在实际生活中的应用又使巫术与邪术更加为人们所轻信。灵魂需要神、天使与魔鬼的帮助；神灵本质上是不可思议的，而巫术是达到神灵的途径。因此新柏拉图主义奖励而且吸收流行在一个衰颓时期的一切民间的迷信，巫术和占星术的一切发展，以及一切追求苦行的病态渴望。一位新柏拉图派传记家笔下的杨布利柯的生活里充满了奇迹，正如阿散纳修斯(Athanasius)的圣安东尼(Saint Anthony)传记一样。

这种神秘的哲学气氛包含有东方信仰的潮流，如祆教(Mithraism)与摩尼教(Manichaeism)。后者主张一种二元论，认为有善恶两种力量，注定要一再重新出现。祆教与基督教争霸于罗马帝国。它是从波斯传来的一种祭仪宗教；以前我们讲过，在希腊化时代，当古典时期快结束，而奥林匹斯神话衰退之时，这一类祭仪宗教就取代了这个美丽的信仰。关于这些祭仪宗教，我们还知道得

63

远远不够完备[①]。它们的教仪有奥义传授和通神等秘密仪式；它们的信仰通过每一宗派特有的神的传说来表达，这些传说一般人信以为真，有教育的人则以为不过是生死秘奥的象征。在这些教仪与传说的背后，有原始的自然崇拜——崇拜日神、崇拜月神和表演一年季节循环的戏剧，以资庆祝：在夏季，大自然生意盎然，在冬季，自然界陷于死亡状态，每年新春，自然界又欢乐地复活过来。

现代人类学进一步揭示了构成祭仪宗教基础的原始观念与其仪式的起源。这些仪式渊源于更原始的仪式，而更原始的仪式则基于这样一种观念：人们可以用交感巫术或妖术去强迫自然就范[②]。这样的教仪及由此发展而来的仪式，比任何宗教教义的确定体系都早，而且更加持久。我们可以看出：在公元后最初几个世纪内，除在文学中出现的正式宗教和哲学之外，还有这些更原始的巫术仪式与信仰的又深又广的暗流存在。从这些仪式里可以找到奥义传授，牺牲献祭，与通神等观念，这些观念在祭仪宗教中，以及后来的某些基督教教义中、特别是天主教的弥撒仪式理论中，又以更复杂的形式出现。这些原始的仪式和较为发达的祭仪宗教对于基督教起源的影响，一向是历史家与神学家讨论的问题。这种讨论随着每一代掌握的知识而有所不同。

圣保罗 (Saint Paul)拯救了基督教，使它没有变成一个注定要很快消灭的犹太教教派，并且把它当做一个世界性宗教来加以宣传。在这个宗教生长起来和传布开来的时候，它和希腊哲学发

---

① 要知简单的叙述可看 Percy Gardner, in Hastings' *Encyclopaedia of Religion and Ethics* and also in *Modern Churchman*, vol. XVI, 1926, p. 310。

② Sir J. G. Frazer, *The Golden Bough*, 3rd ed, 特别看 Part v, "Spirits of the Corn and Wild", vol. I, p. 167. B. Malinowski, *Foundations of Faith and Morals*, Oxford, 1936。

生接触，早期教会的神父们的主要工作，就是把这个哲学与基督教义结合起来。

最先从事这一工作的是沃里根（Origen，约185—约254年），他公开宣布古代学术，特别是亚历山大里亚的科学，与基督信仰是一致的，在争取有教育和有知识的人信教方面，他比任何人尽力都多。当时教义尚未固定，后代人不惜抛弃生命为之奋斗的不同的见解，在他的著作中，还和平地共处着。

64

沃里根最根本的主张是上帝的永恒不变。这个主张牵涉到逻各斯（Logos）① 与世界的永恒不灭，以及灵魂的“预先存在”。这样就把基督教的历史方面的重要性减少了，从而也就可以用比较批判的态度去检查旧约和新约，而且可以采取一个比后来正统观点较为自由的观点。但是沃里根的神学越来越得不着人们的承认，终于在553年君士坦丁堡的宗教会议上遭到遣责。

在拉丁神父中，圣奥古斯丁（Saint Augustine，354—430年）对基督教思想的影响最深远而且最长久；他的《忏悔录》（*Confessions*）和《上帝之城》（*City of God*）是基督教的两大最重要的经典著作。他先属摩尼教派，后来是新柏拉图派，最后才成为基督教徒。他把柏拉图哲学与保罗《使徒行传》的学说结合起来，形成基督教对知识的第一次大综合的基础；这一综合，在中世纪后期亚里斯多德与托马斯·阿奎那支配一切的时代，还作为另一派思想暗地里依然存在着。他的论争，正如圣阿散纳修斯的论争一样，说明天主教的教义是怎样由辩论而形成的，并且说明我们的信条不但是信仰的陈述，而且是“战胜异端和异教的凯歌”。正如吉朋（Gibbon）

① 本义为言语、思想、理性。是最先出现在古希腊唯物主义哲学中的哲学术语，意谓物质世界的普遍规律性。新柏拉图派将逻各斯解释为神或神秘的宇宙理性。基督教吸取这个意义，就把逻各斯和“圣子”等同起来。——译注

所说："异端的名号总是安在少数派头上"。

新柏拉图主义与早期基督教神学同时成长，相互作用——事实上两方都责斥对方抄袭。基督教象新柏拉图主义一样，有一个根本假定：灵魂是宇宙的终极的实在；在教父时代，基督教更接受了新柏拉图派的超理性态度。在早期神父的著作中，最高级的超理性主义对于上帝的爱与对于复活的基督的理解，一步一步下降，最后就变成了同异教群众及新柏拉图派哲学家的信仰已经没有什么区别的最低级的迷信。早期的新柏拉图派异教徒普罗提诺和基督教神学家奥古斯丁对于占卜与巫术并不重视，拉丁神父希波利塔斯（Hippolytus）对于异教的巫术与占星术的愚蠢也加以揭发。但六十年以后，波菲利与杨布利柯，再后数百年，基督教会活动家杰罗姆（Jerome）与格雷哥里（Gregory）都热中于妖魔灵怪的事迹。

65

象征主义在新柏拉图主义中已经出现，神父们为了把《旧约》和《新约》加以调和，并把两者同当时流行的思想流派加以调和，又把象征主义加以推广与发展。《圣经》中的或自然界中的一切如果与每一神父所诠释的基督教义相合，就作为事实接受，凡是不合的就只承认它仅仅有象征的意义。

最后，要了解教父的心理，并由此以了解中世纪人的心理，我们必须明了基督教关于罪恶的观念所带来的压倒一切的动机，那就是对于天堂怀抱希望，对于地狱怀抱着恐惧，盼望通过神与人之间的中保在天堂里得救，避免地狱火焰的惩罚。

异教世界自己也已丧失信心。人类已经远远离开希腊人对于生活的乐观态度和严肃的罗马人在家庭与国家里的快乐生活。祭仪宗教把东方的思想带到欧洲。人们开始更加依赖权威；他们感觉到不安，对于他们在现世和来世的平安发生恍惚的恐惧。这种情形

常出现于历史的各时期之中。甚至在基督降世以前，在巴勒斯坦与犹太教影响存在的其他地方，人人就都期待着天国和末日裁判的灾难来临。这个观念使使徒时代基督教的信仰大半成了一个来世论问题，使基督教的生活规则变成只不过是一种暂时的伦理，只不过是光荣的第二次降临前的短期的准备。也许在教父时代，世界末日已经向未来推远了一点；但最后裁判的日子仍是很近，每一个人都以为死亡是通到神秘的隔世和可怖的阴界的有效门户。暗影笼罩着古代国家的文明，更大的暗影笼罩着人类的精神，差不多使基督宣传的希望与和解的福音光辉都晦暗了。

由于有这样一种人生观和这样一种死亡的前景，无怪乎神父们都对世俗的知识本身，毫不感觉兴趣。圣安布罗斯(Saint Ambrose)说："讨论地球的性质与位置，并不能帮助我们实现对于来世所怀的希望。"基督教思想开始敌视世俗学术，把世俗学术和基督徒决心要战胜的异教看做是一回事。亚历山大里亚图书馆的一个分馆在 390 年间被德奥菲罗斯主教加以毁灭，一般说来愚昧变成大家恭维的德性。当基督教成为人民的宗教后，这种态度变得更加残酷。有一个例子可以说明所产生的这一结果：415年，希帕西亚 (Hypatia)被杀害，她是天文学家塞翁 (Theon)的女儿，也是亚历山大里亚最后一位数学家，可是竟被基督教暴徒异常残忍地加以杀害，而这个暴行据说是西里耳 (Cyril) 教长所主谋的。 66

朱利安皇帝 (Emperor Julian，331—363年)企图复兴异教徒的宗教与哲学，但雅典的最后一位大哲学家是普罗克拉斯 (Proclus,411—485年)，他把新柏拉图主义加以最后的综合，而且使它具有了"传给中世纪基督教和伊斯兰教时所具有的那个形式"[①]。普

① Zeller，在 "Neo-Platonism"，*Enc. Brit.* 9th ed. 里引用过。

罗克拉斯成了基督教与柏拉图和亚里斯多德之间的桥梁。他也部分地造成并促进了中世纪的神秘主义。

虚心地探究自然的愿望与力量渐渐地消失了。自然科学在希腊人那里消融在形而上学里，在罗马的斯多噶派那里，变成支持人类意志的道德所必需的条件。同样在早期基督教的气氛里，自然知识也只有在它是一种启发的工具，可以证明教会的教义与圣经的章节的时候，才被重视。批判的能力不复存在，凡是与神父们所解释的圣经不违背的，人们都相信。当代的自然历史知识可以拿公元二世纪编纂的《生理论》(*Physiologus*)或《动物论》(*Bestiary*)作为代表。这些书的题材与内容公开宣布是根据教义上的考虑决定的，最初都是借用动物世界的形象虚构的基督教寓言。例如，书中庄重地说，小狮出生时是死的，到第三天它们用眼呼吸，因而苏醒过来，这样来象征我们的救主，即犹大(Judah)之狮的复活。

按照他们对于历史和传记的看法，异教历史学家总是随时准备改变历史记载以迁就修词，于是教会的作者就更加变本加厉。在他们的手里，历史成了基督教护教论的一个分支，至于早期中世纪文学的特殊形式，圣徒的传记，那不过是一个启迪的工具。无论什么传说，只要符合于作者心目中的他的题材的神圣性，他都毫不迟疑地加以接受。

教父神学的力量，由于得到教会组织的支持，而愈加强大。到了帝国接受基督教时，这个组织便依靠正在衰退但仍然占有优势的罗马传统力量，成为不可抵御的了。罗马帝国虽然亡了，它的灵魂仍在天主教会中活着，后者不但继承了前者的组织结构，并且承袭了大一统主义 (universalist) 的理想。罗马主教觉得要取得世界大主教的位置和逐渐加强统一的纪律，比以前不知要容易多少倍，因为就是野蛮民族也得尊仰罗马为他们的首都、他们的圣城，

67

并奉凯撒为他们的半神化的君主。从哲学上说，天主教会是希腊化文明的最后成就；从政治和组织上说，它是专制的罗马帝国的后裔与承继者。

黑暗时期

当古代文明的夕阳斜辉消逝在第六、七世纪的黑夜中的时候，欧洲的学术情况就是这样。后来的几个时代在新晨的微光中所回顾的理想的性质就是这样。那时，他以为他们所回顾的是一个比较光明的日子，这个日子的光荣的中午的顶峰就是上帝假手他的儿子而给予世人的最高启示，这个日子的光辉的黄昏则由教会的神父们秉承神意写作的著作照亮。无怪乎新时代的人把经过黑暗时期传到他们手中的东西都当作超自然的法典，而不用批判的眼光去看待它。

古代学术残存于第七世纪的西方的唯一痕迹，只有博埃修斯(Boëthius)的著作。他出身于罗马贵族，于524年被人处死。经过长期争论之后，现在大家好象承认他是基督教徒，甚至是殉道者。不管这些，他的确是代表古代哲学精神嫡传的最后一人。他著有亚里斯多德与柏拉图哲学的纲要和注释，并根据希腊人的著作，写成叙述所谓四学，即算术、几何、音乐、天文四个数学部门的专著。这些手册在中世纪时采用为学校教本，事实上，中世纪初期有关亚里斯多德的知识，几乎完全是由博埃修斯的注释得来的。

博埃修斯传的作者斯特沃特博士，给了我以下一段记载：

> 博埃修斯是罗马人当中的最后一人，但从他对于科学分类所提供的材料看，他也是经院哲学家的最早一人。他主张将知识均匀地分配到自然科学、数学与神学中去，后来的人一致采用，最后托马斯·阿奎那不但接受而且为之辩护。他给人下的定义是“自然界里有理性的个体”，这个定义在经院哲学时期结束以前，一直为人遵奉。

在博埃修斯和比他年轻的同时人卡西多拉斯 (Cassiodorus)
68 以后,古典的精神便不存在了。柏拉图在雅典建立的哲学学校,这时教授一种神秘的、半基督教的新柏拉图主义，于529年为查士丁尼皇帝(Emperor Justinian)所封闭，一半由于是要毁灭异教哲学学说的最后残余，一半是要防止官立基督教学校遇到竞争。

但拜占庭帝国在西欧蛮族最猖獗的时代，维持了一个文明的背景。它的军队把意大利的哥特人赶走了，它的律师在查士丁尼学院把罗马法订为法典。建立在斯多噶学派原则基础上的罗马法提供了一个理性秩序的理想,这个理想经过混乱时期保存下来,帮助形成了罗马帝国继承者大一统主义的法典，后来并帮助形成了经院哲学的知识综合。此外,从古典时代经过拜占庭遗留下来的知识,即令在衰微的时候,也如火炬一样照耀于欧洲的黑暗中,照亮了走向西方学术复兴的道路。这一线光明还没有完全熄灭，西方学术复兴就已经开始了。

不过,在这个当儿,西方与过去的断绝是极其彻底的，并不限于作为文明力量的希腊和作为世界强国的罗马的灭亡。不但作为政治国家和社会组织的雅典与罗马毁灭了,就是艺术家和哲学家的希腊民族,法律家与行政官的罗马民族,也不复存在了。

人们把罗马衰败的开始，归咎于种种原因。一个重要而常被人忽视的原因,据历史家艾利生(Alison)研究，是由于货币缺乏，而造成的经济紊乱①。西班牙与希腊的金银矿开始枯竭，罗马国库中收藏的贵金属可以造为货币的，在奥古斯都时代，估计约值三亿八千万英镑,到了查士丁尼时代已减少到八千万英镑。虽然货

① Sir Archibald Alison, *History of Europe*, vol. 1, Edinburgh and London, 1853, p. 31.

币时常贬色[①]，但我们仍然可以断定国内的物价下跌不已，换言之，用货物与劳务来衡量，金钱的价值则属上升，而缩减通货时期的各种恶劣影响也就必然随之而来了。生产性的农业与工业成为无利可图的事业，捐税到了不可忍耐的程度；由不受货币紊乱影响的国家，如埃及与利比亚输入的货物大大增加，而罗马的土地遂至无人耕种，正如英国的土地在1873至1900年及1921至1928年由于同样的原因而致荒芜一样。

土地既不耕种，城乡的沟道又复失修，于是大片地带竟因疟疾猖獗而不堪居住[②]；高尚与能干的血统的出生率的降低，加上不断的战争与外国人——古罗马人中间——的管理，大概不但使每一代的许多最优秀的人死于非命，而且使优者亡而劣者存，因而使国民的平均品质降低。通常所说的明显的军事原因和其他原因无疑与灾难有很大关系，但是经济的混乱与外族的骚扰也是不可忽视的因素。我们也许可以这样说：北方民族推翻罗马，与其说是野蛮人摧毁了文明，倒不如说是把已经败灭倾颓的废墟打扫清楚，让将来的新的大厦好建筑起来。 63

一个新的文明须从混乱中演化出来；具有一定理想和明确特性的民族必须从信奉大一统主义的腐败帝国的多种多样的种族中发展出来；而这些民族也必须先在社会秩序的改造以及文化特质的判定和专业化方面有很大进展，然后才能成为新的科学和科学哲学萌芽和成长的适当温床。

在欧洲的某些地方，通过黑暗时期的朦胧阴影，我们可以看见

---

① A. R. Burns, *Money and Monetary Policy in Early Times*, London, 1927.

② Angelo Celli, *Malaria*, Eng. trans., London, 1901; W. H. S. Jones, *Malaria, a Neglected Factor in the History of Greece and Rome*, Cambridge, 1909.

知识的小草挣扎出现于阳光之中。意大利的大城市中，可能有些世俗的学校经过动荡与混乱,还继续维持着。但修道院的兴起,使人们第一次有可能过稳定安闲的生活，因而唯有在寺院中才能找到学术新生的最早的征象。

由于福音故事的性质，教会的神父们不能象蔑视或无视其他世俗知识一样蔑视医术。救治病人是基督教的义务，而医学也就成了复兴最早的一门学科。寺院医学起初是巫术，里面稍微混杂一点儿古代的科学。第六世纪时本笃会教士 (Bènedictines) 开始研究希波克拉底与盖伦著作的纲要，他们渐渐把这些著作里的知识传播到西方去。僧侣也是实际的农夫,他们也保存了一点农业知识。

佩斯东海湾那不勒斯南面萨勒诺 (Salerno) 城的学校是最早的非宗教的新学术发源地。从这个中心发出了许多根据希波克拉底与盖伦的著作编纂的书籍。第九世纪时萨勒诺的医生已很有名；到十一世纪时，他们开始读阿拉伯书籍的译本；他们的学校一直兴盛到十二世纪才由普及于欧洲的阿拉伯医学所代替。由于萨勒诺先是希腊的殖民地,后来又是罗马的疗养场,而且在意大利南部希腊医学的传统始终没有完全中断,所以在这里,古代学术与现代学术的直通桥梁也可能始终没有中断。

70

欧洲的改造

不过，我们还应该指出，距离罗马较远的地方，也是表现出明确的新精神最早的地方。从富有诗意的爱尔兰传说开始的爱尔兰、苏格兰及英格兰北部的文学与艺术，由于吸收了基督教的教义，得到迅速的进展。靠了威利布罗德 (Willibrord) 与博尼费 (Boniface) 等传教士的热忱，这一文化连同它的一些世俗学问被

传到南方。北方的这一发展在盎格鲁-萨克逊僧人贾罗的比德(Bede of Jarrow,673-735年)的著作中达到顶点。他把当时西欧所有的知识都收纳在他的著作之内。他的科学主要根据普林尼的《自然历史》(*Natural History*),可是也加了一些他自己的贡献,例如对于潮汐的观察。他处在两派之间,一边是博埃修斯、卡西多拉斯、格雷哥里及塞维尔的伊西多尔(Isidore of Seville)等,受到古典派或教父派学术直接影响的拉丁注释家,另一边是查理大帝所设立的教会学院的学者们。后一派的领袖是约克的阿尔昆(Alcuin of York)。他对于克服把世俗学术与神圣宗教对立起来的流行观念颇有贡献,并且把古典知识的传统带到中古时代。比德用拉丁语著述,主要是为僧侣著述,但150年后文化大大扩大,阿尔弗烈德大帝(Alfred the Great,849—901年)亲自或命人把许多拉丁书籍译成盎格鲁萨克逊的语言,于是拉丁文学的影响就进入本地的语言中。

那时中古时代的欧洲逐渐粗具规模。罗马化的高卢人与蹂躏罗马各省的强悍的条顿部落互相混合,而逐渐形成各个民族国家。从来不曾看见罗马鹰徽的、或者罗马人撤退了的北方各地,创造了自己的文化,甚至自己的文学,罗马理想与罗马文明对于它们不过是外界的和外来的影响而已。

阿拉伯学派[1]

当欧洲学术处在极低潮的时候,在君士坦丁堡东罗马帝国宫庭中,在叙利亚至波斯海湾的国家中,却保存了不少来源于希腊、罗马与犹太的混合文化。最早的一个中心是荣迪沙帕尔(Jundi- 71

[1] 特别看 G. Sarton, *Introduction to the History of Science*, vols. Ⅰ, Ⅱ Baltimore, 1927, 1931。

shapūr)的波斯学校，它在489年成了景教派基督徒的避难所①，在529年柏拉图学园被封、新柏拉图派离开雅典后又成为新柏拉图派的避难所。在这里翻译了希腊的书籍，尤其是柏拉图与亚里斯多德的著作，使希腊哲学与印度、叙利亚、波斯的哲学相接触，还促进了一个医学学派的成长。虽然处在比较孤立的状况中，这个学派还是一直存在到第十世纪。

在620至650年间，在穆罕默德的鼓舞下，阿拉伯人征服了阿拉伯、叙利亚、波斯、埃及等地。一百五十年后，最著名的阿拔斯王朝哈里发诃伦-阿尔-拉西德(Hārūn-al-Rashid)奖励翻译希腊作家的著作，因而帮助促成了阿拉伯学术大时代的开始。起初进步很迟缓，因为必须创立一些适于表达哲学和科学思想的新名词与文章结构，使之融合在叙利亚与阿拉伯的语言之中。阿拉伯人和处在阿拉伯人势力下的民族的任务，与中世纪后期欧洲学术复兴时代一样，第一是要发现隐藏起来且被忘记的希腊知识的宝藏；第二要把他们所发现的宝藏融合在他们自己的语言与文化里面，最后再加上他们自己的贡献。

穆罕默德死后两百年内，伊斯兰教的神学活动极为活跃。伊壁鸠鲁的原子体系和芝诺的疑难所引起的时间空间问题，刺激了穆斯林人的思想，而印度佛教的原子论对他们也不无影响②。

根据可兰经，安拉(Allah)创造而且主持世界，在安拉的绝对存在中，世界只有第二性的存在。这个正统的观点，后来被新柏拉图派和亚里斯多德派的希腊哲学及另一伊斯兰思想学派所修改。

① 讷斯特尔(Nestor)的教派的信徒，被称为邪教徒。

② 见本书一章8页；又看D. B. Macdonald, in *Isis*, No. 30, 1927, p.327; arts. "Atomic Theory (Indian)", by H. Jacobi, and "Muhammadan", by De Boer, in Hastings, *Encyclopaedia of Religion and Ethics*.

后者把新柏拉图派的无尽的存在环链及亚里斯多德的宇宙观念，加入到穆罕默德原来的片面泛神论之中。于是得到一个补充的观点，即反过来，宇宙便是神。第三伊斯兰思想学派用正统的穆罕默德的术语解释自然，得到一个时间的理论，这个时间理论即使不是从印度佛教的原子哲学得来的，也和它类似。宇宙由完全相同的原子构成，安拉则随时重新加以创造。空间也是原子的结构，时间由不可分的无数“此时”所组成。物性是偶有性，属于原子，原子为安拉所创造与重新创造。如果安拉不时时重新创造，宇宙将如梦一样消逝。物质仅由安拉的连续的意志而存在，人不过是动画般的自动器。这样，伊壁鸠鲁的貌似无神的体系，就一变而为高度的一神教。 72

在这些具有神学意义的题材之外，显然人们还有一种好奇心，想研究神学家认为不具有永恒性或实在性的大自然。当基督教国家的科学正在衰落时，伊斯兰教国家的科学却蓬勃发展起来，至八世纪后半期时，领导的地位已确定地由欧洲移到近东了。到了九世纪时，阿拉伯的医学学校因为研究盖伦著作的译本而得到进步，在炼金术所依据的原始化学方面有了显著的新成就。

最早的实用化学，一方面与生活技术（如冶金）有关，另一方面也与制药有关。古典时代，希腊人关于物质本性的见解，以及关于原子和基本元素的观念，离开观察与实验太远，无法归入化学之中。一世纪亚历山大里亚的炼金家可以说是最早认识到和探讨化学问题的人。但那时以后，工作就陷于停顿，六百年后阿拉伯人才重新拾起他们的工作。

由于误解亚历山大里亚的技术的起源，后来的炼金家为自己树立了两大目标，而这两个目标都是不能实现的——一是要把贱金属变为黄金，一是要炼成能医一切疾病的“仙丹”。他们的钻研

当然非失败不可，不过他们却因此得到许多可靠的化学知识，并发现了许多有用的药品。

阿拉伯的炼金家从两个来源得到他们的初步知识：一是上面说过的波斯学派，一是亚历山大里亚希腊人的著作，一半经过叙利亚人的传授，一半得自直接的翻译。说阿拉伯话的民族研究炼金术有七百年的历史，他们的工作中心先在伊拉克，后在西班牙。在他们的手里炼金术发展成为化学，又由他们那里发展成为中世纪后期的欧洲化学，主要是经过西班牙的摩尔人。在有些阿拉伯著作家和他们的欧洲门徒由炼金术进步到化学的时候，另外一些人由于不能了解亚历山大里亚炼金家的专门知识和哲学观点不能吸取比较新颖、比较科学的观点，便在自己的工作中堕落到贪得无厌地追求黄金和玩弄或自欺欺人的巫术的地步。

73

最著名的阿拉伯炼金家及化学家是阿布-穆萨-札比尔-伊本-哈扬(Abu-Musa-Jābir-ibn-Haiyan)他约在776年间享有盛名。后来有许多著作以拉丁语出版，据说是一位名叫"杰伯尔"(Geber)的时代不明、身世不明的人所写的。有人认为"杰伯尔"也就是札比尔。不过，这些著作的起源问题至今还没有解决①。拜特洛(Berthelot)于1893年，研究了一些阿拉伯原稿的新译本之后，断定札比尔的成就比杰伯尔要少得多②。但霍姆亚德(Holmyard)③与萨尔顿④说，从还没有翻译过来的阿拉伯著作看来，札比尔是一位比拜特洛设想的要高明得多的化学家。他好象制造过(用现代

① *The Arabic Works of Jābir-ibn-Haiyan*, ed. by E. J. Holmyard, I, Paris, 1928; *The Works of Geber*, R. Russell, 1678, ed. by E. J. Holmyard, London, 1928.

② *La Chimie au Moyen Âge*, Paris, 1893.

③ E. J. Holmyard, in *Isis*, No. 19, 1924, p. 479.

④ *Introduction to the History of Science*, Vol. I, p. 532.

术语讲)碳酸铅，并且由砷和锑的硫化物中分析出砷与锑；他叙述了金属的提炼，钢的制造，布与皮的染色，以及蒸馏醋而得到醋酸的方法。他认为当时所知的六种金属所以不同是由于所含的硫和汞的比例不同。但是，在对他的全部阿拉伯语著作加以批判的研究，并与拉丁语的“杰伯尔”著作加以比较之前，札比尔在历史上的地位是不易确定的。

在化学史上，把硫(即火)与汞(即水)看做是基本元素的观念是十分重要的。这一观念似乎是由于发现硫与汞化合而成鲜明的红色硫化物而产生的。由于银是白色的，金是黄色的，红色必定是用比金更贵重、更根本的东西制成的。硫与汞之外，后来又加上食盐来代表土或固体。食盐、硫与汞为物体的基本元素的学说，代替恩培多克勒和亚里斯多德的四元素说，一直流行到波义耳在1661年发表《怀疑的化学家》(*Sceptical Chymist*)一书的时候。

科学性的化学的重要性日益增长，这表现在九世纪开始的一场关于炼金术的真正价值的辩论上。那时欧几里得的《几何原理》(*Elements*)与托勒密的天文著作，也翻译成阿拉伯语了，后者的巨著，因而得到《至大论》(*Almagest*)这个阿拉伯名称。希腊的几何学与天文学于是传到穆斯林世界。印度的数字也许是先由希腊人发明，然后传入印度，再以早期的形式传给阿拉伯人，他们又修改为所谓古巴尔(Ghubar)字体，与我们现今所用的字体更为相近①。当时穆斯林人贸易很广，因此这些方便的数字，被世界认为是阿拉伯数字，经过几个世纪之后便代替了累赘的罗马数字。在拉丁语中最早使用这个新数字体系的例子，似乎是976年间在西班牙写成的一部手稿，但零位记号的普遍使用是更往后的事情。 74

① S. Gandz, *Isis*, Nov. 1931, No. 49, p. 393.

当时，有些阿拉伯著作家为了推广自己的著作，就把自己的著作假托是希腊人的著作。譬如阿拉伯人或叙利亚人编纂的一部关于民间传说与巫术的文集，名叫《秘密的秘密》(*Secretum Secretorum*)，在中世纪的欧洲十分流行，当时就伪称是亚里斯多德著作的译本。817年左右，埃德萨的约布(Job of Edessa)根据在巴格达讲授的材料，写了一部关于哲学与自然科学的百科词典。这部词典的叙利亚语的版本最近由明加纳(Mingana)加以编辑并翻译过来①。

托勒密著作的翻译也推动了穆斯林天文学家。穆罕默德·阿尔-巴塔尼(Muhammad al-Batani，约850年)在安提沃奇(Antioch)天文台，重新计算了春秋二分点的岁差，并制成一套新的天文表。他的工作由不像他那样有名的学者们继续下去。在公元1000年左右，三角学有了进步。伊本·荣尼斯(Ibn Junis)或尤纳斯(Yūnus)在开罗对日月食进行观测，并加以记录。他可算是最大的穆斯林天文学家。他的工作得到埃及国王阿尔-哈金(al-Hakim)的鼓励。阿尔-哈金还在开罗设立学院。

阿拉伯科学的古典时期可以说在第十世纪，从波斯人阿布·巴克·阿尔-腊济(Abu Bakr al-Rāzi)的工作开始的。此人在欧洲也被称为布巴卡尔(Bubachar)或腊泽斯(Rhazes)。他在巴格达行过医，编辑过许多百科全书性的教科书，其中有一本著名的著作讨论麻疹与天花。他被认为是伊斯兰最伟大的医生，事实上也是中世纪全世界的最伟大的医生。他把化学应用到医学上来，并使用了流体静力天秤来测量物体的比重。

75

最杰出的穆斯林物理学家是伊本-阿尔-黑森(Ibn-al-Haitham，965—1020年)。他在埃及阿尔-哈金统治下工作过。他的

① Cambridge, 1935; *Isis*, No. 69, 1936, p. 141.

主要工作是在光学方面，在实验方法上有很大的改进。他使用球面和抛物面返光镜，并研究了球面象差，透镜的放大率与大气的折射。他增进了有关眼球和视觉过程的知识，并用有力的数学方法解决了几何光学的问题。他的著作的拉丁语译本，通过罗吉尔·培根与刻卜勒，对于西方科学的发展有很大的影响。同时有一位医学家和哲学家名叫伊本·西那（Ibn Sīnā）即阿维森纳（Avicenna，980—1037年）。他是布哈拉（Bokhara）城人，访问过中央亚细亚各国的宫廷，希望得到一个安定的位置，来发展他的天才，并进行他的文学与科学的工作，但没有成功。他对当时所知的科学都有著述。据萨尔顿说，他不相信炼金术可使金属突变，他以为这种变化有其根本的原因，不是改变颜色所能成功的。他的《医典》（*Canon*）或医学纲要是“古代和穆斯林全部知识的总汇”，是阿拉伯文化的最高成就之一。后来这部书成了欧洲各大学的医学教科书，直到1650年，卢万（Louvain）与蒙特佩里耶（Montpellier）的学校还在用它，而且据说至今仍是穆斯林国家的主要医学典籍。

他的一位同代人阿尔-比路尼（al-Bīrūni），名声没有他大，但智慧并不比他小。他是哲学家、天文学家及地理学家，生于973至1048年间。他进行过大地测量，他所测定的经纬度达到相当准确程度。他测量过一些宝石的比重，用水在通路中自求其水平的原理来解释天然泉及喷水井。他对于印度的某些部分和人民有极清楚的叙述，并且写了一篇中世纪最好的关于印度数字的论著。

这时阿拉伯语已经公认为研究学术的经典语言，所以凡是用阿拉伯语写成的东西都是权威的，正如早期（和后来）时代的希腊语著作一样。最初把阿拉伯书籍有系统地翻译成拉丁语的是非洲人康斯坦太因（Constantine）。他在蒙特卡西诺寺（Monte Cassino）

工作,从1060年直到1087年死去之时。他游历过萨勒诺,他的工作对于萨勒诺学校有很大影响,在这里和其他地方,由于他的鼓舞,拉丁国家才吸收了阿拉伯人的学术。

76 可是这时阿拉伯学术的最高潮已经过去了。第十一世纪时,出现了波斯诗人莪默·伽亚谟(Omar Khayyam)的重要代数著作,和阿尔-加扎利(al-Ghazzāli)的神学著作。他为伊斯兰教所做的哲学与综合工作,正如托马斯·阿奎那为基督教所做的哲学和综合工作一样。但在这个世纪将近结束时,阿拉伯与穆斯林的学术就开始衰退,此后科学活动便主要是在欧洲了。

从政治方面看,由于伊斯兰王公将领的内争,由于原来出过很多总督、军人及行政官员的有才干的阿拉伯高贵世家渐次解体与毁灭,因而不可能再有安定的阿拉伯帝国出现。辽远的省份一个一个地脱离这个软弱、衰老、多种族的帝国,而恢复原有的民族性和政治独立。

穆罕默德征服的最远的省份是西班牙,阿拉伯文明、犹太文明与基督教文明交流的最好的成果正是在那里表现出来。在418至711年的三个世纪之间,一个西哥特国在西班牙建立起来,并由其京城土鲁斯(Toulouse)维持法律与秩序。原来在狄托(Titus)治下由巴勒斯坦放逐到西班牙的那些塞法迪姆犹太人(Sephardim Jews)保存了亚历山大里亚学术的传统,聚集财富,并保持与东方交通畅通无阻。在711年伊斯兰教征服西班牙后情况仍然是如此。只要他们的优越地位不受反对,阿拉伯人对于思想是宽容的,因此许多学校得以成立,可是这不是由于一般人民的拥护,而是由于有自由思想或心胸宽大的统治者的偶然的和反覆无常的眷顾。

西班牙-阿拉伯哲学发展的过程,与一百年后基督教学校所走的过程大致相同。他们同样想把本国的神圣文献与希腊哲学的学

说加以调和；神学家们亦复有类似的派别竞争，一派依靠理性与理性的结论，一派信赖神的启示或神秘的宗教经验，两派都否认人的理性在宗教问题上的效用。

正统的穆斯林经院哲学及其理性的哲理神学，主要是在巴格达活动的波斯人阿尔-加扎利创立的。同样的见解也流行于西班牙，但西班牙-阿拉伯思想学派的真正名声，应归功于1126年出生于科多瓦(Cordova)的阿维罗伊(Averroes)的工作。虽然他对亚里斯多德的学说极其尊崇，但把一种新观念注入到宗教与哲学的关系中去。据他看来，宗教不是可以归结为命题和教条体系的知识的一个分支，而是一种人的内向的力量，同“实证的”或实验的科学是不同的。神学是两者的混合。他认为对两者来说，神学都是祸害的根源，一方面它造成了宗教与哲学不相容的错误印象，另一方面也用一种假科学败坏了宗教。

这样，阿维罗伊的学说与正统的基督教神学发生严重冲突，是不足为奇的。但尽管有人反对，特别是重要的多明我(Dominican)思想学派反对，他的语言却能打动愿意听他的人。到了十三世纪阿维罗伊就成了意大利南部、巴黎、牛津等大学公认的权威，照罗吉尔·培根与邓斯·司各脱(Duns Scotus)的意见，他可以同亚里斯多德并列为实证科学的大师。

那个时代的另一位重要的科多瓦人是迈蒙尼德(Maimonides,1135-1204年)。他是犹太医学家、数学家、天文学家与哲学家。他的主要工作是建立可与阿尔-加扎利的伊斯兰经院哲学以及后来由托马斯·阿奎那完成的基督教经院哲学相比拟的犹太经院哲学体系。迈蒙尼德想把犹太神学与希腊哲学，特别是与亚里斯多德的哲学调和起来。他的著作在中世纪后期有很大的影响。那时他的信徒把他的见解任意加以引伸，甚至以为圣经中叙述的全部历史

都是象征性的，这种学说自然要引起争论[1]。

欧洲学术的复兴

欧洲接受了并且慢慢地吸收了阿拉伯知识，因此，在欧洲，研究学术的工具也有了很大的进步。在东罗马帝国的君士坦丁堡，九、十世纪时，就已经出现了知识的复兴。当时君士坦丁七世提倡学术与艺术，并且命人编纂百科全书式的著作。以君士坦丁堡为基地，靠了基辅公爵弗拉基米尔的不断劝诱，把俄罗斯也变成了基督教国，在十世纪末，直接导源于东罗马帝国(拜占庭)的俄罗斯艺术也出现了。因为有了这个拜占庭的文艺复兴，许多希腊的手稿才被人复制并保存下来。

78 我们说过，从很早的时候，在萨勒诺已经有了一个世俗学问的研究中心，特别是医学研究中心，而在北欧方面，查理大帝与阿尔弗烈德大帝对于学者的奖励，也使一般学术的发展得到推动。盖尔贝特(Gerbert)是法国博学的教育家与数学家，972至999年间，他在兰斯(Rheims)等地教书，公元999年，被选为教皇，改名西尔维斯特二世(Sylvester II)。在他的著作中，他讲到印度数字，算盘(一种简易的计算机)和星盘(一个有刻度的金属圆盘，上面有一个臂绕中心旋转，可用以测量天顶距)。十世纪早期，阿拉伯学术已经传播到列日(Liége)和洛林(Lorraine)等其他城市，再由这里传到法国、德国与英国[2]。1180年左右，在赫尔福德的罗吉尔(Roger of Hereford)的领导下，出现了一个阿拉伯学术的中心[3]。

---

① 关于中世纪犹太哲学，可看：H. A. Wolfson, *The Philosophy of Spinoza*, Harvard, 1934; *Isis*, No. 64, 1935, p. 543。

② J. W. Thompson, *Isis*, No. 38, 1929, p. 184.

③ J. C. Russell, *Isis*, No. 52, July 1932.

教育需要的增加，使寺院和教堂的学校不足以应付不断增加的要求，于是新的世俗学校开始建立，而终于形成现代大学[1]。1000年左右，法律的研究已经在波伦亚(Bologna)恢复，到了十二世纪，法律学校之外，又加上医学和哲学学校。起初外国学生为了对付本地人的歧视并互相保护起见，成立了学生会或"大学"(*Universitas*)，后来这种组织又推广到本地或外国的全体学生中去。这些学生会自己聘请他们的教师，就是后来的波伦亚大学也仍然是学生的大学，因为它的管理权还操在学生手里。

另一方面，在第十二世纪的头十年，一些教师们在巴黎成立了一所辩论术学校，不久那个城市的教师组织即*Universitas*，就成为北欧及英国大多数大学的组织模型。因此，牛津与剑桥两大学的管理权总是操在教师手里，与波伦亚大学的管理权操在学生手里不同，不过在苏格兰，大学校长还是由选举产生，这是学生管理权的残存的痕迹。

早在加洛林王朝(Carolingian)[2]时代，学校的课程已经订定为初等三科，即文法、修词与辩论，都和词有关，和高等四科，即音乐、算术、几何学与天文学，这四科无论如何被认为是研究物的。音乐包含有一种半神秘性的数的理论，几何学只有欧几里得的一系列命题，而无证明，算术与天文学受到重视，主要因为它们教人怎样计算复活节的日期。这一切都是研究神圣的神学的准备。在整个中世纪，这种分科方法对于各门学术要素都是适用的，后来，由于人们对哲学产生更大兴趣，又添上了哲学一科，但这也只不过是逻辑辩论术的一门高级课程而已。

---

① H. Rashdall, *The Universities of Europe in the Middle Ages*, Oxford, 1895.

② 法兰克王国第二个王朝，因建立者查理大帝得名(751-843年)。——译注

柏拉图与亚里斯多德之间关于"理式"或"共相"(universals)的老争论,再度出现在波菲利的著作与博埃修斯的注释中,因此到了中世纪的头脑中便成为分类的问题了。我们何以能分类呢?个体是唯一的实在,而类或共相(一般的概念)只是心灵的概念或名称,象唯名论所主张的那样呢,还是它们有相当独立的实在性,在感官对象中并依附于感官对象,作为对象的本质而存在,象亚里斯多德所指示的那样呢?或者再从另一方面说,理念或共相真象柏拉图在他的唯心主义哲学(后来叫唯实论)中所说的那样,脱离现象或个别事物有其独立的存在和实在吗?举一例而言,德谟克利特与苏格拉底究竟是真实的人还是只是一个名称呢?还是人是有自己的实在性的一个种类,在这里或那里得着某些形式,而成为德谟克利特或苏格拉底,即真正实体——人类——的偶有性呢?我们究竟应该随着柏拉图说"共相在物先"(*universalia ante rem*)还是应该随着亚里斯多德说"共相在物里"(*universalia in re*),或者随着唯名论者说"共相在物后"(*universalia post rem*)呢?

我们的科学头脑,更接近阿基米得而不喜欢亚里斯多德或柏拉图,觉得这场争论又愚蠢又讨厌。但要发掘埋藏很久直到文艺复兴才萌芽的现代科学的种子,却不能不对这场论战加以研究。就它对于认识论的影响来说,即令在希腊人看来,它也是很重要的,中世纪的人也终于在这里找着了基督教义的全部问题,唯一的困难是决定大肆实行迫害的正统派究竟要站在哪一方面。

第九世纪里,沃里根的门徒伊里吉纳(Erigena)或约翰·斯科特(John Scot)创立了一个神秘的学说,其基本的意见认为神是唯一的实在。这个学说是中古时代(与教父时期相对而言)基督教信仰与希腊哲学(这里指新柏拉图派的哲学)的第一次大综合。在伊里吉纳看来,真哲学就是真宗教,真宗教也就是真哲学。理性引导

人到一个体系，这个体系又与正当解释的圣经相吻合。伊里吉纳是实在论者，但他的唯实论把柏拉图的观点与亚里斯多德的观点溶合在一起，唯实论与唯名论的争论只是到后来才趋于激烈。十一世纪时批判的推理应用于神学，双方的争执点才开始明朗化。唯名论出现在土尔的柏朗加里斯(Berengarius of Tours,999—1088年)的著作里，他批判了化体 (transubstantiation) 理论，说我们要改变面包与酒的本质，就必然要相应地改变其形与味等偶有性。唯名论也出现在洛色林(Roscellinus，卒于约1125年) 的著作中。他主张只有个体是实在的，因而达到三位一体的三神论观念。这就立刻促使敌对的唯实论轮廓更加鲜明，尤其是在查姆伯的威廉 (William of Champeaux) 与坎特布里的安瑟伦(Anselm of Canterbury)的著作中，并使唯实论成为正统观点，流行了几百年。

但是唯实论固有的困难，引起许多不同的派别；学校内狂热地进行着无休止的辩论，经院辩论家在哲学的尖锐交锋中斗争了两百年。法国布尔塔尼人阿伯拉尔(Abélard,1079—1142年)攻击他的先生查姆伯的威廉并把他的学说修改成为接近唯名论的一种学说，但是他的唯名论不象洛色林的那样始终一致。在阿伯拉尔的哲学中，三位一体的教义成了一神的三个方面的观念。阿伯拉尔已经有摆脱中世纪思想习以为常的教条框框的征象。他说了一些富有意义的话，如"怀疑是研究的道路"，"研究才能达到真理"，"要信仰须先了解"，这些话很可以拿来和教父哲学家德尔图良(Tertullian)的"正因其荒谬而信仰" (*credo quia impossibile*)，及安瑟伦的"为求知而信仰"(*credo ut intelligam*)相比较。阿伯拉尔受到圣伯纳德 (Saint Bernard) 的谴责，后者极端仇视世俗的智慧，且尽力培养教会对于异端的疑忌。但有一个时期，思辨的精神也消耗尽净了，从十二世纪中叶，逻辑与哲学辩论开始沉寂，一直沉寂了

五十年，现在人们又对古典文献发生了暂时的兴趣，这种兴趣是以萨利斯伯里的约翰(John of Salisbury)及设在沙特尔(Chartres)的他的学校为中心的。

中世纪人的哲学讨论，至今仍然使某些现代的形而上学家感到浓厚的兴趣；他们对于物质宇宙的一般观念，在我们看来，实在奇怪、不实在而且混乱。大体说来，他们对于自然事件、道德真理和精神经验是不加分别的。终极的实在无疑地包含着这三方面，81 但历史告诉我们，无论如何，自然事件应当单独加以观察，如果我们要想更加认识它们相互间的关系的话。

中世纪的心理迷恋于假想的大小两种宇宙的类比，一方面是神性，即天文学上的宇宙结构，另一方面是人体，即解剖学、生理学与心理学上的人身结构。他们通常以为有一个活的灵魂，即“奴斯”(νοῦς)或新柏拉图主义的世界精神，贯注在并维系着整个宇宙，这个灵魂又为神所渗透与控制。因此，原始的物质，即死与分解的元素，也在神控制之下。

大宇宙和小宇宙的观念是在柏拉图的《蒂迈欧篇》中提出的，还可上溯到阿尔克莽与毕达哥拉斯派，但是有些中世纪的著作家归之于赫米斯(Hermes)。这是一位很可怀疑的亚历山大里亚人物。许多炼金术的著作里提到他，也许他就是古埃及神梼特。这个理论还以简单的形式出现在塞维尔的伊西多尔与炼金家“杰伯尔”的书中。后来更由土尔的伯纳德·西尔维斯特里(Bernard Sylvestris of Tours，约1150年)与宾根(Bingen)的修道院院长希德加尔(Hildegard，约1170年)① 加以发展。在中世纪的艺术品中经常可

① *Studies in the History and Method of Science*, ed. by Charles Singer, Oxford, 1917, “St Hildegard”, p.1.

以看见这个观念的寓言式的表现。

在仅仅描绘大宇宙的其他作品中，我们可以看见如下的画面。地球是中央的球体，其中的四元素原来本是谐和而有秩序的，自亚当堕落以后便凌乱了。地球周围有充满空气、以太和火的几层同心圈，这些圈里有恒星、太阳与行星，被四种天风挟持着运行，这四种天风又与地上的四种元素和人身中的四种体液有关，天堂是火层以外最高的苍穹，地狱在我们脚下的地球之内。

大宇宙和小宇宙基本上相似的概念，流行于整个中世纪。经过文艺复兴而仍存在，及至现代还出现在文学里。宇宙是由同心的球或圈层构成的观念，在中世纪已发展成古典的了；在但丁的幻像里达到了它的顶点。哥白尼摧毁了它的理性基础，但没有铲除民间的传说。就在现今，我们还可以在各阶级的愚昧民众中流行的某些历书的封面上，看见从古代世界和中世纪这些混乱的想象中得来的图画。

在犹太神智学，即所谓卡巴拉(Caballa)的学说里，也可以找到大致相同的观念，这个学说自称发扬了上帝启示亚当的秘传真理，并且靠了传说传给后代，以后对基督教也发生了很大的影响。 82

在这里，我们对中世纪的庞杂繁复的占星术、炼金术、巫术与神智学大杂脍，连十分之一也无法叙述；这些不但使我们难于理解，甚且使我们不能卒读。这些观念本质上是中世纪心理的特点，有了这些观念，他们才感觉安适。但是我们不要忘记，科学思想在当时既很少见，而且同一般人的心理也格格不入。几棵疏落的科学树苗，必须在始终阻遏生机的旷野密菁中生长，而不是象有些科学历史家所想象的那样在开阔而有益于康健的愚昧草原中生长。一块农地如果几年不加耕种，即仍成为草莽，在思想的园地里也不乏同样的危险情况。费了科学家三百年的劳动，才得清除草秽，成

为熟土；但毁灭很小一部分人口，便足以毁灭科学的知识，使我们回到差不多普遍信仰巫术、妖术和占星术的局面中去。

十三世纪

黑暗时期的学术任务是把濒于灭绝的古代学术尽可能地挽救出来，以后几个世纪的任务则是熟习与吸收所重新发现的学术。中世纪初期在学术方面的主要成就，是把拉丁纲要的作者所保存下来的残存古代古典知识与早期教父们依照新柏拉图主义诠释的基督教信仰融合为一。我们可以看到，自九世纪以来，这个过程就在进行，可以说从那时起，中世纪的建设时期就开始了。

到十二世纪时，从过去得来的双重遗产已经由中世纪的思想界加以考察、清理、吸收与改造了。此后哲学性的神学工作就暂时停顿下来，可是这个时期里，把古典书籍当做文学来欣赏的现象却达到了极点。比较高深的亚里斯多德著作，没有一部是完整的，因此没有一部科学书籍落到当时学者手中，来打扰他们偏重于文学的观点；这些学者所以留心典籍，本来只是一种治学的别径，或者只是为了更便于了解圣经的语言和神父的著作。虽然亚里斯多德的著作，经过各家注释未尝没有间接的影响，但当时流行的神学态度仍然是柏拉图派或新柏拉图与奥古斯丁派的态度，是唯心主义的和神秘的，而不是理性的和哲学的。

83

但在十三世纪时，人们的观点就发生了一个重大的变化，这与当时随着托钵僧的出现而产生的人道运动是同时发生的，而且或许还是有关联的。为了满足人们追求世俗知识的不断增长的要求，希腊书籍翻译成拉丁语，起初是从阿拉伯语转译，后来直接由希腊语译出。全部情况至今还没有完全弄清楚，因为我们对于阿拉伯科学文献——即使是现存的那一部分科学文献——的知识还是很

片段的，要正确地指出什么是阿拉伯人增加到希腊科学上去的，还不可能。

由阿拉伯语到拉丁语的翻译工作，在西班牙最是活跃。这里自1125至1280年有一系列的翻译家针对许多题目孜孜不倦地工作着。“由于他们的工作，我们才得到亚里斯多德、托勒密、欧几里得和希腊医学家阿维森纳与阿维罗伊以及阿拉伯天文学家与数学家的著作，还有一大堆占星术书籍，显然还有不少的炼金术的书籍。”①

在重要性上次于西班牙的是意大利南部与西西里。在这些地方，有不少著作从阿拉伯语和希腊语翻译过来，这是因为这些地方与君士坦丁堡有外交和商务的关系，而且居住有一些阿拉伯人和希腊人的缘故。从这个来源得到了一些医学书籍，一本地理著作与地图以及托勒密的《光学》。亚里斯多德的《动物学》、《形而上学》与《物理学》及1200年以后在西方出现的许多次要书籍，其来源则属于许多散居各处的或不知名的译者。

那时科学文献的通用语言是阿拉伯语，从阿拉伯语译出的书籍，即使作者是希腊人，也见重于当时。当时，说阿拉伯话的民族以及杂居其间的犹太人对于科学感到真正的兴趣，中世纪欧洲正是由于同伊斯兰教国家接触，才从早期的观点过渡到一个比较富于理性主义的心理习惯。

最大的变化是在重新发现亚里斯多德著作的时候发生的。1200至1225年间，亚里斯多德的全集被发现了，并且翻译成拉丁语；与其他希腊著作一样，起先是从阿拉伯语译出，后来才直接由希腊语译出。在后一翻译工作中，最出色的一个学者是格罗塞特

① C. H. Haskins, in *Isis*, No.23, 1925, p. 478.

(Robert Grosseteste)。他是牛津的校长，林肯区的主教，著有讨论
84 彗星与其成因的论文。他邀请希腊人到英国来，并输入希腊书籍，而他的门徒、方济各会修士罗吉尔·培根则写了一部希腊语法。他们的目的不在于文学，而在于神学与哲学，他们想要把圣经和亚里斯多德原著语言的锁钥打开。

这些新知识不久便对当时的争论发生了影响。唯实论仍然存在，但不如从前彻底了，而且稍微离开了柏拉图主义。人们认识到，经过亚里斯多德修改后的唯实论，可以用心理学的术语来加以表述，使其接近于唯名论。但在比较大的问题上，亚里斯多德却为中世纪思想界展开一个新的思想世界。他的一般观点不但更加富于理性，而且更科学，与历来充当古代哲学的主要代表的新柏拉图主义大有差别。他的知识领域，无论在哲学方面或自然科学方面，都比当时所知道的宽广得多。要吸收这些新材料并且使其合于中世纪的基督教思想，是一件很不容易的工作，而且在从事这个工作时也不能没有疑惧。人们已经深信教会作为天启的接受者与解释者，在学术上是至高无上的，而代表世俗学问的神秘的新柏拉图主义则是与天启相符合的。因此，要接受新发现的亚里斯多德的著作以及这些著作里包含的科学的或准科学的知识，并且把这些知识与基督教教义调和起来，在学术上需要真正大胆的努力；在最初研究亚里斯多德的时候一时发生惊慌，是不足怪的。起初，亚里斯多德的著作，是经过阿拉伯的途径传到西方的。在这个途径中，他的哲学和阿维罗伊派的倾向混合起来，结果成了神秘的异端。1209年巴黎的大主教管区会议禁止亚里斯多德的著作，后来，又再一次加以禁止。但是，1225年，巴黎大学就正式把亚里斯多德的著作列到必读书籍的目录里去。

在这个时期里解释亚里斯多德的最主要的学者是多明我会修

士科隆的大阿尔伯特（Albertus Magnus of Cologne, 1206—1280年）。他也是中世纪里最富有科学思想的一人。他把亚里斯多德、阿拉伯和犹太诸要素组成一个整体，其中包括了当时的天文学、地理学、植物学、动物学与医学各种知识。在这一工作中，阿尔伯特本人与其同时代的植物学家鲁菲纳斯（Rufinus）等人作出了肯定的贡献①。

当时流行的思想倾向可以从阿尔伯特教授亚里斯多德的胚胎学以后发生的情况看出来。亚里斯多德认为一个生物的成胎，母体给它以质，父体给它以形。中世纪的心理注重事物的价值，因而断定男质特别贵重，后来竟形成一种神学的胚胎学，于是灵魂何时进入胎里，就成了具有头等重要性的问题。

阿尔伯特的工作，一方面表现出他同他的同时代的青年人牛津的方济各会修士们、格罗塞特斯与培根有密切的关系，另一方面也直接引导他的有名的门徒圣托马斯·阿奎那形成更有系统的哲学。虽然阿奎那的头脑不象阿尔伯特那样富于科学精神，可是在哲学史及科学起源方面他却十分重要。他继承阿尔伯特的工作，把当时知识的宝藏，不管是神圣的还是世俗的，加以理性的解释，因而激起人们对于知识的兴趣，并使人们感觉宇宙似乎是可以理解的。

阿尔伯特与阿奎那共同促成了一场思想革命，特别是宗教思想的革命。从柏拉图经过新柏拉图主义到奥古斯丁，人们一向认为人是思想着的灵魂与活着的肉体的混合物，其中两者各自形成一个完整的实体。上帝在每个灵魂里植上一些天赋的观念，其中

① E. Michael, *Geschichte d. deutschen Volhes vom 13 Fahrh.*, vol. v. part II, 1903, p. 445 *et seq*.

便有神的观念。这种体系很容易同个人灵魂不死，人们可以直接认识上帝等基督教教义调和起来。

但是，亚里斯多德对于人和认识的问题，提出一种完全不同的理论。肉体或灵魂单独都不能是一个完整的实体，人只能看做是两者的复合体。观念也不是天赋的，而是按照几个不证自明的原则(如因果原则)，根据感官材料建立起来的。对于上帝的认识，不是天赋的，必须通过理性的与辛苦的推理方能达到。亚里斯多德的体系，虽然在解释宗教问题的时候有种种困难，可是对于外部世界却作出了比较好的解释，因此阿尔伯特与阿奎那接受了它，托马斯更是勇敢地和巧妙地起来把它与基督教教义加以调和。

不过，亚里斯多德的哲学，虽然同柏拉图的哲学比起来要合乎科学一些，可是与文艺复兴时代的新知识仍然是抵触的，因此当他的著作被人接受、成为权威的时候，它们就在许多年代中阻挡了科学思想从神学桎梏下解放出来，因为学院的世俗学术和罗马教会双方所以都对现代科学的初期发展抱着突出的仇视态度，主要是由于圣托马斯的亚里斯多德主义的缘故。

托马斯·阿奎那

托马斯是阿奎农(Aquinum)伯爵的儿子，1225年左右生于意大利南部。十八岁时他加入多明我会为修士。他在科隆从阿尔伯特求学，在巴黎和罗马教过书，辛劳一生，死于1274年，只活了四十九岁。

86 他的两大著作：《神学大全》(*Summa Theologiae*)与《箴俗哲学大全》(*Summa Philosophica contra Gentiles*)是为了向无知者阐明基督教知识而写的。他认为知识有两个来源：一是基督教信仰的神秘，由圣经、神父及教会的传说传递下来，一是人类理性

所推出的真理——这不是个人的难免有误的理性，而是自然真理的泉源，柏拉图与亚里斯多德就是它的主要的解说者。决不能把这两个源头对立起来，因为它们都从一个源头——神——那里出来。因此哲学与神学必然是可以相容的，一部《神学大全》应该包括一切知识；就连神的存在也可以用推理来加以证明。但是在这里，托马斯·阿奎那就和他的前人分手了。伊里吉纳和安瑟伦在比较神秘的新柏拉图主义的影响下，要想证明三位一体及化身等最高的神秘。但托马斯在亚里斯多德与其阿拉伯注释家的影响下，认为这些神秘不能用理性去证明，虽然它们可用理性去检察和领悟。因而这些教义从此脱离哲学的神学的领域，而转入信仰范围之内去了。

在他的一切工作中，阿奎那的兴趣都属于理智方面。任何由神创造而具有理性的人，其完全的幸福都在于运用其智慧来默念神。信仰与启示乃是对真理的命题与表述的信念。如果我们以为经院哲学及后来由它产生的正统的罗马神学反对或轻视人的理性，那就完全错了。那是早期的态度，例如安瑟伦就害怕当代唯名论者使用他们的理性。但后期的经院派并不贬低理性。相反地，他们认为人的理性原是为了解和检验神与自然而形成的。他们自称要对整个存在的体系给予理性的说明，只不过在我们看来他们的前提有问题罢了。

阿奎那的体系是按照亚里斯多德的逻辑学与科学建立起来的。他的逻辑学，通过它的纲要早已为人熟习。在人们对知识尝试进行理性的综合的时候，他的逻辑学的影响就更深远了。在三段论法基础上，逻辑学可以根据公认的前提，提供严格的证明。这方法自然使人们觉得知识的来源，一方面是直觉的公理，另一方面是权威，即天主教会的权威。这个方法很不适于引导人们或指导人们用实验方法去研究自然。

87 阿奎那还从亚里斯多德和当时的基督教义那里接受了一种假设，说人是万物的中心与目的，世界可以按照人的感觉和人的心理来描绘。这一切都是亚里斯多德的物理学使然，因为物理学是他的科学中最弱的一门学科。德谟克利特早在现代物理学的见解形成之前就惊人地预言说："按照通常说法，有甜有苦，有热有冷。按照通常说法，有色彩。其实，只有原子与虚空。"这一理论是与现代客观物理学相符合的。它要透过浅薄的感觉，发现与人无关的自然界的法则。但是，我们知道，亚里斯多德却摒弃了这一切，拒绝了原子的概念。在他看来，物体并不象德谟克利特所说的那样，是许多原子的集合体，或者象我们所了解的那样，是有质量、惯性及其他物理的、化学的或生理的特性的东西。物体是一个主体或实体，具有归入某些范畴的特性。首先它是本质，"这不是指一个主体具有的，而是指一切其他东西都具有的东西"；例如人、面包、石头；不过，亚里斯多德在这里所说的并不是一种具体的东西，而是一种本质性质。其次它有重、热、白等特性；还有不那末重要的是，它存在在什么地方和什么时候。这些都属偶有性，比起本质来，没有那样根本的意义，不过在一定的瞬刻内，却都是主体的一个组成部分。

在十九世纪看来，这一切都好象是无益的，差不多是无意义的，虽然我们可以把这一切说法改造成为一种比较具有现代气味的形态。但十九世纪或二十世纪的观点在中世纪的人看来也是同样地奇怪，而他们的心理态度，是产生了重大历史后果的。如果重是一种和轻相反的自然特性的话，我们就很容易了解亚里斯多德怎样达到天然位置的学说，按照这个学说，重的下沉，轻的上浮，所以物体愈重，下坠愈速。在这一点上，经院派同史特芬和伽利略发生了争执。不但如此，由于亚里斯多德把物体的根本性的本质与现象、偶有性或种区别开来，在中世纪的人看来，化体理论——1215

年以来的一个信条——也就显得很自然了。即令在神秘的新柏拉图主义已经被理性的亚里斯多德派的托马斯主义代替了的时候，中世纪的人仍然这样想。

阿奎那接受了托勒密的天文学。值得注意的是他把它仅当做一个工作假设——“**这不是证明，而是假设**”[①]。但是，圣托马斯的 83 警惕却被人忽略了，而地球中心说竟成了托马斯派哲学的一部分。人既然是创造万物的目的，地球便该是宇宙的中心，围绕它旋转的有充满气、以太与火（“世界的火焰墙”）的同心圈，这些圈载着太阳、恒星与行星运行。中世纪的末日审判画说明这种见解怎样自然而然地引导人们想象出这样一个景象：天堂在苍穹的上面，地狱在土地的下面。人们是在基督教教义与亚里斯多德哲学所提供的前提之内，细致而巧妙地制订出这个体系的，只要我们接受这些前提，这个体系就是一个没有矛盾、令人信服的整体。

亚里斯多德的世界永恒说，因为同上帝在时间中创造世界的教义不调和而遭到阿奎那的摈斥，但在其他方面，阿奎那对于亚里斯多德的科学，就连细节也设法使之与当时的神学相符合。亚里斯多德认为凡是运动都需要不断地施加力量。从这一见解中阿奎那推出了一些与当时神学相符合的结论，例如说“**天体被有智慧的本质所推动**。”这些推论既然被视为业经证明，前提也就更加可靠了，于是全部自然知识就和神学结合成为一个坚固的大厦；在这个大厦中，各部分是互相依赖的，所以对于亚里斯多德的哲学或科学的攻击，便是对于基督教义的攻击。

在托马斯派的哲学中，肉体和心灵同为实在，但它们中间并没有笛卡尔首先加以表述，在后来的年代为人们所十分熟悉的那种

---

① *Lib. Physicorum*, I, cap. 2, lect. Ⅲ, 7.

鲜明的对立。阿奎那根本没有想到去研究现代形而上学所遇到的一些困难，如这两个表面上无法比较的实体之间的关系，或与此有关的问题：人的心灵为什么有可能认识自然。那时还不需要这种分析；四个世纪以后，才产生这种需要，因为当时伽利略已经从动力学的观点证明亚里斯多德的物质及其特性的概念，必须由运动中的物质的观念来代替，偶有性如色、声、味等，并不是物质固有的特性，而仅仅是接受者心中的感觉。十三世纪时这些还是不可理解的观念，其中所包含的困难当然也是毫无意义的。

经院哲学在托马斯·阿奎那手里达到了最高的水平。这种哲学深入人心牢固而持久。文艺复兴之后残存的经院哲学家是反对新的实验科学的，但是，他们的学说的彻底唯理论却造成了产生近代科学的学术气氛。就某种意义而言，科学是对这种唯理论的反抗；科学诉诸无情的事实，不管这些事实是否与预定的理性体系相合。但是，这种唯理论却有一个必要的假设作基础，那就是，自然是有规律的、整一的。怀德海博士指出①：不可抵抗的命运的观念——希腊悲剧的中心题材——经过斯多噶哲学，传给了罗马法。罗马法就建立在那种哲学的道德原则基础上。虽然在罗马灭亡后出现了无政府状态，法律秩序的观念还是始终存在着，罗马教会也保持了帝国统治的大一统主义传统。经院派的哲学唯理论，从一个普遍而有秩序的思想体系中产生出来，又适合于这个体系，且为科学预备了这个信念：“每一细节事件，都可以和以前的事件有着极其确定的互相关联，成为普遍原则的例证。如果没有这个信念，科学家的难以置信的勤劳将没有什么希望。”“在经院哲学被抛弃以后，

① A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927, pp. 11—15.

一个无价的习惯仍然存在着，那就是寻觅一个确切的点，寻得以后便固执不舍。伽利略得力于亚里斯多德的地方比表面上看起来要多……他的清晰的头脑和分析能力都是从亚里斯多德那里得来的。”“今天存在的科学想象力的开山宗师是古代雅典的大悲剧家埃斯库罗斯、索福克勒斯（Sophocles）与欧里庇得斯（Euripides）。在他们想象中无情冷酷的命运，把一个悲剧事件逼迫到不可避免的结局。这种想象力就是科学所具有的想象力。”

罗吉尔·培根①

十三世纪既出现了经院哲学大师托马斯·阿奎那的成功的、受人称赞的工作，也出现了罗吉尔·培根（Roger Bacon）的悲惨的一生。根据留传下来的记录，在中世纪的欧洲，罗吉尔·培根是在精神上接近他以前的伟大的阿拉伯人或他以后的文艺复兴时代的科学家的唯一人物。他一生的悲剧，一半是内心的悲剧，一半外在的悲剧；一半是由于当时学术环境中他的思想方法的必然局限性所致，一半是由于教会权威对他的迫害所致。

罗吉尔·培根在1210年左右生于英国伊尔彻斯特（Ilchester）附近的索默塞特（Somerset）沼泽地区。他好象出生于有地位和有钱财的家庭。他在牛津学习，受过两个安格鲁人（Anglians）的影响，一是数学家亚当·马什（Adam Marsh），一是牛津大学校长、后来任林肯郡主教的罗伯特·格罗塞特（Robert Grosseteste）。培根说，“只有一个人知道科学，那就是林肯郡的主教”；他又说，“在我们的时代，前任林肯郡主教罗伯特爵士和修士亚当·马尔什，可

① E.Charles, *Roger Bacon, sa Vie*, ses *Ouvrages, ses Doctrines*, Paris, 1861; *The Opus Majus of Roger Bacon*, translated by R.B. Burton, Philadelphia, 1928; G.Sarton, *Introduction to the History of Science*, vol. I, p.952.

以说是无所不知”。

在英国或在西欧，格罗塞特看来是从东方邀请希腊人来教希腊古文的第一人，那时这种文字在君士坦丁堡仍然为人阅读。培根也同样认识到研究亚里斯多德原著与《新约》的语言的重要性，因而编辑了一部希腊语法。他经常不断地说：当代博士们不懂原文是他们在神学与哲学上失败的原因。他指出神父们怎样改动他们的译文，以符合于当时的偏见，又怎样因为粗疏无知和篡改原作，——尤其是多明我会修士——以致使原著变质。这是现代的翻译批评的先声。值得指出的是，培根本人是方济各会的修士。

但培根高出于同时代的哲学家，事实上还高出于整个中世纪欧洲哲学家的地方在于，他清晰了解只有实验方法才能给科学以确实性。这是心理态度的一次革命性的改变，只有在详细研究了当代的其他著作之后才能领会这种革命性改变的意义。培根博览群书，无书不读，包括阿拉伯书籍(或许是拉丁译本)和希腊书籍，但他并不是从圣经、神父、阿拉伯人或亚里斯多德那里把自然知识的事实与推论拿过来就算完事，而是谆谆地告戒世人：证明前人说法的唯一方法只有观察与实验。在这里，他的理论又成为另一位更有名的培根的理论的先声。这人便是三百五十年以后英国的国务大臣弗兰西斯·培根(Francis Bacon)。他好象利用了他的前辈罗吉尔的某些见解。他对于人之常情的错误的原因的分析尤为明显。罗吉尔认为错误的原因有四，即对权威的过度崇拜、习惯、偏见与对知识的自负：这个分析与弗兰西斯的四偶像十分相似，因而决不可能是巧合。

虽然他在著作中竭力主张观察和实验，罗吉尔本人除了在光学方面外，好象没有做过很多实验；他在光学实验上费了很多钱，但是他所取得的结果似乎是很少的。他在巴黎住了几年，得了博

士学位之后仍回到牛津。但他的工作渐渐引起别人的怀疑，不久他就被送回巴黎，显然是为了让他的修会对他严加看管，并且禁止他写作或传布他的理论。但就在这时候，他平生的机会到来了。

一位开明的法律家、战士和政治家，名叫吉·德·富克(Guy de Foulques)的，对于培根在巴黎的工作发生了兴趣。他后来被举为教皇，改名克力门四世(Clement Ⅳ)。培根写信给他，克力门不顾教长的禁令与教团的章程，立即答应了他的正式请求，命令这个小僧侣把他的研究成果写出来。不知什么缘故，教皇还命令他保守秘密。这就增加了罗吉尔的困难。他既是托钵僧，自然没有钱，但是他向朋友借贷，凑足了购买写作材料的费用，经过十五或十八个月，他就在1267年送了三部书给克力门：一部叫《大著作》(*Opus Majus*)，详述他全部见解，一部叫《小著作》(*Opus Minor*)是一种概要，一部叫《第三著作》(*Opus Tertium*)，是因为怕前两部遗失而补送的。我们了解培根的工作主要是靠了这几部著作，虽然还有一些著作，但始终是手稿①。

克力门不久就死了，培根既没有人保护，就在1277年被原任方济各会会督、后为教皇尼古拉斯四世(Nicholas Ⅳ)的阿斯科里的杰罗姆(Jerome of Ascoli)处以监禁之刑，而且不许申诉。大概，直到1292年尼古拉斯死后，培根才获得释放。那年他写了一本小册子名《神学概要》(*Compendium Theologiae*)，从此以后，就再没有这位伟大修士的消息了。

培根虽然具有比较进步的眼光，他的心理态度大半还是中世纪的。一个人不管愿意不愿意，总是当代思想界大军的一分子，他只可能比这支大军的行列走得稍微远一点。培根自然也以为宇宙周围绕有充满恒星的天球，大地则居于宇宙中心。他接受了圣经的

① S.H.Thomson, *Isis*, No.74, Aug.1937, p. 219.

绝对权威——如果圣经的真正原本可以重新找到的话——和当时基督教的武断神学的整个体系。尤其有害的成见是：他虽然在其他方面猛烈地攻击经院哲学，但是却赞同经院哲学的这样一个见解：一切科学与哲学的目的，都是为了解释与装饰至高无上的神学。在他的著作中随处可见的一部分混乱和矛盾就是由此产生的。这种混乱和矛盾总是和走在他的时代前面，甚至走在以后三百年前面的创见和远见混杂在一起。他虽然竭力挣扎，但总不能摆脱中世纪的心理习惯。

92

培根的卓见之一就是，他认识到学习数学不论作为一种教育训练或作为其他科学的基础都是十分重要的。那时已有从阿拉伯语译出的数学论著。里面常常有一些把数学应用到占星术上的例子。占星术是宿命论或决定论的一种形式，和基督教的自由意志论是不相容的，而且研究数学与占星术的大半是伊斯兰教徒及犹太人；因此这两种学科都得到恶名，被人同“黑术”联系起来。但是培根凭着他的自信的勇气，宣布数学与光学（他叫透视学）是其他学术的基础。他说这两种科学是林肯郡的罗伯特所了解的。数学的表格与仪器虽然费用多而且容易毁坏，却是必要的。他指出当时历法有误差，每130年便多一天。他把当时知道的世界各国详细加以叙述，估计了世界的大小，赞成大地是球状的学说。他在这一点上影响了哥伦布。

他对于光似乎特别感到兴趣，也许由于他学习了阿拉伯物理学家伊本-阿尔-黑森的著作的拉丁译本的缘故。培根叙述了光的反射定律和一般的折射现象。他懂得反射镜、透镜并且谈到望远镜，虽然他似乎并没有制造过一部望远镜。他提出一种虹的理论，作为归纳推理的一个例子。他批评了当时医生的谬误[①]。

① M. C. Welborn, *Isis*, No.52, 1932, p. 26.

他叙述了许多机械的发明，有些是他实际见过的，有些是未来可能发明出来的，如机械推进的车船与飞行的机器等。他谈到了魔术镜、取火镜、火药、希腊火、磁石、人造金、点金石等，——这里面有事实、有预言、有道听途说，应有尽有。在《炼金术之镜》(*Mirror of Alchemy*)一文里，他仍保持着亚历山大里亚派的学说，认为凡物都向提高方面努力。他说："自然不断地走向完善——那就是黄金。"

我们在对培根工作加以评价时决不能忘记，如果教皇克力门不命令他写出书来，他的名声只好依靠民间关于他的魔术的传说了。毫无疑问，培根之外也还有别人感到同样的兴趣，只可惜没有留下直接的痕迹罢了。就是在培根自己的著作中，也可以找到这种 93 人的工作的反映。他说，"当今只有两位很好的数学家，即伦敦的约翰先生与皮卡人马汉-丘里亚的彼得先生"。培根讨论实验时又提到了彼得先生。

他说，有一种科学，比其他科学都完善，要证明其他科学，就需要它，那便是实验科学；实验科学胜过各种依靠论证的科学，因为无论推理如何有力，这些科学都不可能提供确定性，除非有实验证明它们的结论。只有实验科学才能决定自然可以造成什么效果、人工可以造成什么效果、欺骗可以造成什么效果。只有它才能告诉我们怎样去判断魔术家的愚妄，正如逻辑可以用来检验论证一样。这种实验方法，除了彼得先生之外无人懂得，他真可以称得起是实验大师，但他不愿发表他的工作成果，也不在乎由此得来的名誉与财富(也许还有危险)。

不管培根所说的这些虚幻人物是不是实有其人，有一件事情是明白的：培根自己在精神上是一位科学家和一位科学的哲学家。他出世过早，常常不自觉地和自己狭窄的眼界的局限性发生冲突，

正象他常常和他一再公开加以抨击的外界障碍发生冲突一样，他是实验时代的真正先锋，索默塞特、牛津与英国有了他是很可以自豪的。

经院哲学的衰落

罗吉尔·培根对于阿奎那的经院哲学的批评，从现代观点看，虽然是正确的，但和当时存在的时代精神却有些格格不入，所以不能发生多少影响。

对于经院哲学的更富于摧毁性的攻击是哲学界的攻击。这场攻击开始于十三世纪的末期。邓斯·司各脱(Duns Scotus，约1265—1308年)在伦敦与巴黎教过书，他扩大了连阿奎那也认为是理性所不能说明的神学地盘。他把主要的基督教义都建立在神的独断意志的基础上，并且认为自由意志是人的基本属性，地位远在理性之上。这是反抗经院哲学所追求的哲学与宗教的融合的开始。当时人本以为托马斯·阿奎那已经最后确凿无误地完成了这种融合。但是，这时，二元论又复活了，虽然从本质上来说仍然是不完备的，不能令人满意的，但是要想使哲学从“神学的婢女”的束缚中解放出来，以致可以自由地与实验结合，而产生科学，这却是一个必经的阶段。十三世纪之末与十四世纪之初，托马斯派与司各脱派平分了哲学与神学的天下，同时在文学方面，一个反抗权威桎梏的运动，也在意大利出现了。

94

邓斯·司各脱所开始的过程，到威廉·奥卡姆(William of Occam，卒于1347年)的著作中有了更大进展。这位萨里(Surrey)人否认神学教义可以用理性证明，并举出许多教会教义是不合理的。他攻击教皇是至高无上的极端理论，并领导方济各会修士反抗教皇约翰二十二世。他因为著文为这一行动辩护而被指为异端，受到

裁判，监禁于法国阿维尼翁(Avignon)。后来他逃出监狱，求巴瓦里亚的路易皇帝 (Louis of Bavaria) 保护，并帮助这位君主与教皇长久争辩。

这一真理的双重性的原则——一方面凭借信仰接受教会的教义，另一方面凭借理性研究哲学问题——是与唯名论的复活有密切关系的。唯名论相信个体是唯一的实在，并且认为普遍性的观念只不过是名称或心理概念而已；这种见解的主要倡导者是巴黎的让·布里丹(Jean Buridan,约在1350年)。唯实论派为了从普遍中导出个别，总是在一个又一个抽象观念中绕圈子。对这种把问题复杂化的做法，奥卡姆用他的有名的警句——所谓"奥卡姆的剃刀"——加以批判："不要增加超过需要的实体"。这是现代人反对不必要的假设的先声。由于唯名论的复活，人们就对直接感官知觉的对象重视起来，这种精神打破了人们对抽象观念的信仰，因而最后也就促进了直接的观察与实验，促进了归纳研究。

这种新唯名论遭到教会的反对与禁制，巴黎大学谴责了奥卡姆的著作，直到1473年还企图强迫推行唯实论。但唯名论以不可抵抗之势传布开来，几年以后阻力便绝迹了。大学校长、教会主教都成了唯名论者，马丁·路德的学说也有很大一部分是从奥卡姆的著作中得来的。最后，罗马才回到修改后的亚里斯多德的唯实论，1879年，教皇列奥十三世 (Leo XIII)下了一道通谕，重新规定圣托马斯·阿奎那的学说是法定的罗马哲学。

尽管这样，奥卡姆的工作仍然标志着经院哲学独霸中世纪的局面的结束。从此以后，哲学就更可以自由地进行探讨，不一定非要达到神学预定的结论不可了，同时宗教也暂时脱离了唯理论，可以来发展它那些同样重要的情感和神秘方面了。因此在十四、十五世纪就出现一种新神秘主义(特别在德国)和许多类型的宗教经 95

验。这些宗教经验至今仍然为人们所知，而且是有价值的。

另外一位帮助推翻经院哲学的著名教士，是库萨的尼古拉(Nicholas of Cusa，1401—1464年)主教。他认为人类的一切知识都只不过是猜测而已，虽然人们可以凭神秘的直觉去领会神，而神也囊括了一切存在物。尼古拉由此形成的见解后来成为一种泛神论，而为布鲁诺(Bruno)所采纳。不管他对于知识的看法怎样，尼古拉在数学和物理学方面却有显著的贡献。他用天平证明生长着的植物从空气里吸取了一些有重量的东西。他提议改良历法，认真地尝试把圆化为面积相等的正方形，并且抛弃了托勒密体系，拥护地球自转的理论，成为哥白尼的先驱。尼古拉、布鲁诺与天文学家诺瓦腊(Novara)都认为运动是相对的，只有数才是绝对的[①]，这样也就在哲学方面，为哥白尼铺平了道路。威尼斯的马可·波罗(Marco Polo，1254—1324年)在亚洲内陆的旅行，也增进了地理知识。

中世纪的任务已经完成了；以人文主义、艺术、实际的发现和自然科学的开始为其特有的光荣的文艺复兴的道路扫清了，经院哲学的时代过去了，历史展开了新的一页。

在科学历史学家眼中，中世纪是现代的摇篮。阿拉伯学派保存了希腊学术，而且对于自然界的知识有不少独创性的贡献。在阿拉伯与西欧，实用技术慢慢地兴起，只是对一般的思想还没有什么影响。从十二世纪以后才有人进行蒸馏，在1300年左右才出现了用于制造眼镜和其他用途的凸透镜（主要在威尼斯），两百年后才有凹透镜。工业制出了化学试剂，如硫酸与硝酸。但是有系统

① L.R.Heath, *The Concept of Time*, Chicago, 1936.

的实验却没有什么进步，可以说，在罗吉尔·培根提出实验科学以前，西方学术界本来并没有自己的实验科学。后来又出了几位数学家，著名的有斯怀因谢德（Richard Swineshead，活动于1350年）与霍耳布鲁克(John Holbrook，卒于1437年)。但研究欧洲中世纪思想时最有趣的一件事，是追溯不断变化的人类心理态度怎样从一种似乎不可能产生科学的状态，转到另外一个状态，以致使得科学自然而然地从哲学的环境里产生出来。 96

经院哲学的代表人采取了解释者的态度；创造性的实验研究是与他们的观念不相合的。可是他们理性的唯知主义，不但保持了而且还加强了逻辑分析的精神，他们关于神与世界是人可了解的假设，也使得西欧聪明才智之士产生了一种即使是不自觉的也是十分可贵的信心，即相信自然界是有规律的和一致的；没有这种信心，就不会有人去进行科学研究了。文艺复兴时代的人，一旦摆脱了经院哲学权威的桎梏，就吸取了经院哲学的方法给与他们的教训。他们本着自然是一致和可以了解的信念，开始进行观察，用归纳的方法形成假设以便解释他们的观察结果，然后又用逻辑的推理演绎出推论，再用实验去加以检验。经院哲学训练了他们，结果反而叫这些人把它摧毁。

从某种意义说，我们只谈到了基督教中世纪最坏的一面：在科学研究所必需的特殊思想领域方面，中世纪是最虚弱的。我们只是大略地考察了一下欧洲各个国家怎样在中世纪形成和巩固。我们没有谈到中世纪在文学和艺术上惊人的成就。《罗兰之歌》在我们看来不过是文化民族化的一个迹象；后来的骑士浪漫文学我们根本没有提到。但丁的《神曲》，除了把托马斯·阿奎那的观念秘藏在诗句里之外，对我们是没有多少意义的。教堂建筑的光辉成就，在我们不过是建筑技术进步的例证。就是中世纪的宗教，虽然在

哲学方面和我们关系比较接近，在本质上也与我们的研究漠不相干。中世纪宗教对于救世主上帝的信仰，它对全体人类崇敬热爱的精神以及它给受苦人群带来的得救的福音，都不在我们的考察范围内。我们碰见了那个猜疑的裁判官圣伯纳德，但阿西西的圣方济各 (Saint Francis of Assisi)，那位可爱、欢乐、单纯的人物，却不见于我们的篇页。

第三章　文艺复兴

文艺复兴的起源——列奥纳多·达·芬奇——宗教改革——哥白尼——自然史、医学与化学——解剖学与生理学——植物学——科尔彻斯特的吉尔伯特——弗兰西斯·培根——刻卜勒——伽利略——从笛卡尔到波义耳——帕斯卡尔与气压计——妖术——数学——科学的起源

文艺复兴的起源

十三世纪以后，西欧的学术发展有一段停顿时期。黑死病与百年战争带来了经济与社会紊乱，安定的生活与平静的研究都不可能，把经院哲学带到顶峰的心灵活动，好象也有衰竭之势。

虽然如此，人类的学术观点，仍处在不断改变的过程中。在整个这个过渡时期，我们可以找出各种思想的细流，这些细流汹涌地汇合起来的时候，就形成文艺复兴的洪流。前章已经讲过，由于邓斯·司各脱和威廉·奥卡姆的哲学的影响，经院哲学的思想已有逐渐解体之势，而奥卡姆由教皇的监狱脱逃，依附于巴瓦里亚的路易皇帝，尤足表现教会的权力遇到重大的反抗，而民族的权力不管好歹已经不顾教会当局的大一统主义的传统确立起来。

文艺复兴的精神首先出现在早先受到摧残现在又逐渐恢复元气的意大利。也许在罗马建筑遗迹中生活的人们很容易重新对古籍发生热爱。一个强悍的北方种族已经在意大利北部建立了殖民

地，变成了上层阶级。这个阶级没有因为意大利各城邦的内战而灭绝，虽然当时及后来内战都使得贵族大伤元气。但在别的国度，北方种族还要更纯粹一些，所以意大利在学术上先进的原因，应该到别的地方去寻找。十三世纪的方济各会修士巴马的塞利姆本(Salimbene of Parma)提供了一个线索。他指出，意大利与其他国家有一个重要的不同的地方。他说，在阿尔卑斯山以北的地区，只有城市的人在城里居住，“武士与贵妇们”则住在他们的庄园上，以便管理他们的闭关自守的封建领地；但是，在意大利，上层阶级却在城里拥有住宅，大部时间是在城里度过的。

98 土地的主人常住在他们的领地上固然可以使乡村得到一些好处，可是在交通不便的时代，乡居生活使人们没有多少机会交流思想，推动智慧的发展与创造。另一方面，在意大利北部，有闲的智识阶级的城居生活，却为文艺复兴的诞生提供了一个理想的环境。

文艺复兴绝不限于文学。有许多因素结合起来造成了一次空前未有的智识发酵，虽然文学是最早而且最重要的一个因素。文艺复兴的前驱者是彼特拉克(Petrarch, 1304—1374 年)。在他身上我们看见一种与构成但丁诗歌基础的中世纪经院哲学迥然不同的精神。彼特拉克首先倡导恢复良好的古典拉丁语，以代替经院哲学派的非正规拉丁语；更重要的是，他竭力要恢复要求理想自由的古典思想的真精神。

彼特拉克的调子走在他的时代的前面，但十五世纪初年由于人们对古典文献的兴趣不断增加，有许多希腊人从东方来到意大利，他们能用现代语教授古语。1453年，土耳其人占领君士坦丁堡后，加速了这个过程，于是许多好教师带着手稿，来到他们新建的家里。手稿的搜求成了时髦的风尚；意大利和北欧的礼拜堂与修道院的图书馆都被搜掠一空，豪商贵族则命令他们东方的代理人不

惜重资来收买藏在东方或君士坦丁堡陷落时散失了的希腊书籍。这样，古代哲学和科学的语言，经过八九百年之后，就重为西方学者所熟悉。

比这种语言更重要的是它里面所包藏的自由探讨的精神以及“古典学问”在几百年的中古精神以后给欧洲重新带来的从事各种各样的研究的动力。虽然由于当时的思想方式习惯于宗教的权威，人们在世俗文献方面也容易接受权威，而且过度看重希腊哲学家的学说也是有危险的，但人文主义者毕竟为科学的未来的振兴铺平了道路，并且在开扩人们的心胸方面起了主要作用。只有心胸开阔了，才有可能建立科学。假使没有他们，具有科学头脑的人就很难摆脱神学成见的学术束缚；没有他们，外界的阻碍也许竟无法克服。

人文主义由在意大利跟随新学大师们学习的人带到北欧。最早的一位是约翰·弥勒（Johann Müller，1436—1476年），他生于哥尼斯堡（Königsberg），以后被人称为雷纪奥蒙塔拉斯（Regiomontanus）。他首先把科学和人文主义结合起来。他把托勒密和其他希腊人的著作翻译成拉丁语，1471年在纽伦堡（Nürnberg）建立了一座观象台，他制造了靠重力推动的钟和几具天文仪器。他的天文年历是现代航海年鉴的前驱，曾为西班牙及葡萄牙探险家所使用①。至今在英国，威尔斯和奥特里·圣马利（Wells and Ottery St Mary）教堂里还保存有几具中世纪的计时钟。 99

但德国文艺复兴的主流却通过研究圣经，促成了宗教改革。德国在学术上有了新的精力与兴趣，但没有采纳意大利人的自我修养的理想，也没有采纳意大利人的高雅的异教精神。在法国，意

① *Cambridge Modern History*, vol. 1, Cambridge, 1902, p.571.

大利的精神比较契合，所以那里的运动，比在条顿国家更富于人文主义和审美色彩。

北欧文艺复兴的重要人物是爱拉斯谟 (Desiderius Erasmus, 1467—1536年)。他生于鹿特丹(Rotterdam)而名闻各国。在他看来，人文主义主要是用知识的教养影响去和当代的恶习作斗争的手段：修道院的文盲、教会的不法行为、经院派的炫学以及公共道德和私人道德的堕落等，都在他所谓主要恶习之列。经院派的神学家任意曲解片断经文，爱拉斯谟却起来把圣经的真义和早期教父们的教训，传授给人。

在一个短暂的光明时期里，梵蒂冈竟成了推动人们研究古代文化的中心。这种局面在教皇列奥十世 (Leo X, 1513—1521年)时达到最高峰。1527年，帝国军队占领了罗马，这个学术和艺术生活的新世界就遭到毁坏，不久教庭就改变从前的开明领导的政策，在它不能理解或控制的时候就盲目地加以反对，以致成为现代学术道路上的障碍。

大约在公元一世纪末，中国已经发明了纸，据说这是蔡伦的功绩，而木板印刷则出现于八世纪。造纸的技术随着后期十字军输入欧洲，约一百年后活字版的发明就使旧式模板印刷变成了实际而有用的技术，因而代替了在羊皮纸上抄写的笨拙方法，使书籍得以广泛流传。

同时，人们对地理的发现又再一次发生了热烈兴趣。一位军事工程师达·丰塔纳 (Giovanni da Fontana)，在描写十五世纪中叶的"自然界的万物"的时候叙述了许多地理事实与奇谈①。尽

100

---

① 此书刊印于1544年，曾误认为是阿扎刘斯(P.Azalus)的著作，见 L.Thorndike, *Isis*, Feb.1931, p.31。

管当时的航海技术还处于原始状态，欧洲所认识的地球的面积仍然很快地增加起来。使用十字标竿或圆形星盘来测量太阳中天的高度，可以粗略地算出观测地点的纬度，但对经度还无法作满意的测定。英国的第一幅海道图，据说是1489年的地图。

葡萄牙人，在阿拉伯和犹太天文学的指导下，首先开始探险。由于航海家亨利王子的倡导，他们在1419年发现了亚速尔岛(Azores)，以后又发现非洲西海洋，先是要感化异教徒，并寻找一条不受穆斯林干扰的通往印度的道路，后来是为了猎取奴隶与黄金。1497年，达·伽马(Vasco da Gama)绕过好望角首先到达了印度。亨利王子在圣·维森提角(Cape St Vincent)附近的萨格雷斯(Sagres)建立了一所观象台，以便编制更精确的太阳赤纬表。葡萄牙人获得成功以后，其他国家的人也都纷纷起来竞争。希腊人关于大地是球形的学说，几世纪以来为天体演化说学者所熟知，现在更成了公认的信念[①]。从这个信念出发，人们自然而然地就产生一个想法：由大西洋向西行驶便可到达亚洲东岸，印度和中国的丰富的商品便可由海道直接到达欧洲。事实上，希腊人自己早就提出过这个见解，其中就有波赛东尼奥。经过多次失败之后，成功的人物与时机终于到来。克里斯托弗尔·哥伦布(Christopher Columbus)生于意大利北部利古里亚(Ligurian)海岸的科戈勒托(Cogoletto)港。他克服了许多障碍之后，终于得到斐迪南(Ferdinand)和伊萨伯拉(Isabella)的赞助，从安达卢西亚(Andalusia)的帕洛斯(Palos)港出发，于1492年10月12日到达了巴哈马(Bahamas)群岛。二十四年之后，麦哲伦(Magalhaes 即 Magellan)的船只费时三年转来，环绕地球航行一周，证明了大地实在是球形的。早期环游地球

① E.G.R.Taylor, *Historical Association Pamphlet*, No.126.

的航行家不幸总是由东到西，因而总是遇到逆风。如由西到东那就容易多了。

这些发现新地的伟大航行，开扩了当时人们的心胸。这虽然是最直接的效果而却不是唯一的效果。由于与新地贸易的扩展，101 本国的工商业得到很大的刺激，于是欧洲的物资和人民的总财富都增加了。这种增加由两方面而来。首先是新市场与新的供应来源所造成的显著的财富增长及其直接间接的经济影响。其次，从新近的经验来看这里也牵涉到货币的因素。货币是一种筹码，它本身不是财富；但流通货币的总数的变动，常会影响物价，而造成重大经济变化。贸易与工业的发展，常常因为通货和信用不能随之扩大，而受到阻碍。通货缺乏可以造成总的物价水平的下降，这种情况与通过改进制造方法造成的物价的真正低廉不同，它使工业不景气因而阻遏文化与学术的发展。但是，自从新大陆开发以后，由于新大陆盛产黄金和白银（各国都是选定其中一种作为货币的本位），通货数量就远远超过扩大贸易所必需的程度。货币因多而贱，于是物价上升。当物价上升时，工商两业都能获利。不但如此，工业上的固定费用(按货币计算的费用)就不那么大了；例如在十六世纪时，随着例行地皮租金按货物和劳务计算的实际价值的不断下降，这种租金已经变得微乎其微。因此，制造与贸易变得同样有利可图。财富与随着财富而来的研究学问的闲暇时间也就扩大到在中古时代物资有限的情况下所不能达到的更大的社会范围内。

值得指出的是，人类历史上有三个学术发展最惊人的时期：即希腊的极盛期、文艺复兴时期与我们这个世纪。这三个时期都是地理上经济上发展的时期，因而也是财富增多及过闲暇生活的机会增多的时期。在希腊，这种生活建立在奴隶制度基础之上，文艺复兴时期，这种生活是靠了得自印度群岛的资源，十九世纪时，这

种生活是靠了工业革命。在希腊，学术全盛时期来临以后不久就出现了政治的解体，而且这个民族的人数相对来说，始终是很少的。近代文艺复兴之后，有四百年时间，欧洲各国的力量大大增长，人口也增加不已，于是才智之士参加学术事业的人数也日益增多，因此，研究科学的人就比古代希腊哲学家多得难以数计。我们在称赞现代科学的成就时，记住这个事实也许是有好处的。不但如 102 此，我们很难断定这一知识增进的过程是不是可以继续不断；事实上我们很难说，在可能出现的社会和经济条件之下，是不是会有充足的聪明才智之士涌现出来，来使这个过程继续下去。

常有人说，在我们把我们所了解的、促成文艺复兴的几种倾向找出来，并且给予应有的评价之后，我们仍然不能不感到，用几个明显的原因去解释心理态度在这样短的时间内的惊人变化，实在不能算是完全成功。克雷顿(Creighton)主教就这样说过①：

"把促成这种变化的一切因素与见解聚拢在一起，观察者仍然觉得在这一切背后，还有一种生气活泼的精神，这种精神我们只能很不完全地捕捉住。它有力量把其余的因素掺和在一起，使其突然成为一个整体。这种现代精神以可惊的速度形成，我们还不能充分地解释其过程。"

要答复这些论点，也许可以指出三点。第一，黄金的流入，和由此造成的总的物价水平的不断上升，对于文化的刺激影响，还不曾被人充分了解。第二，我们必须记着我们所掌握的记录，实在只是当代极小的一部分学术活动的记录。那时把自己的思想写在纸上的人已经很少，而他们的著作能够传到我们手中的更是不多。在意大利城市生活中，知识及由知识带来的观点的改变，必定是得之于口授，而非得之于书籍的阅读，人与人之间直接交际的影响

① *Cambridge Modern History*, vol.1, Cambridge, 1902, p.2.

必然非常之大。第三，当几个因素共同作用的时候，最初总的效果只是各个因素的效果的总和。但是，到后来，各个因素的效果就互相重叠，互相加强；因与果彼此作用和反作用。造成十六世纪的变化的物质、道德、学术等各种因素便是这样的，它们有些突然地经过了临界阶段。财富的增加增进了知识，新知识又转而增加财富。整个这个过程产生累积效果，并且加速度地前进，终于形成不可抗拒的文艺复兴的洪流。

列奥纳多·达·芬奇

103 在意大利城市的全部生活中，人格的影响无疑是特别大的，但要从历史上加以探讨却很困难。我们对出色人物的力量大半只能有一些零星片断的了解。但是，多才多艺的巨人式的天才列奥纳多·达·芬奇 (Leonardo da Vinci) 的不完全的札记已经有一部分出版，公之于世，因此，其中一位人物的全部才华就展现我们面前了[1]。列奥纳多也许打算把他的札记收集起来，整理成书，但即使他有这个意愿，他的寿命也不允许他这样做；因此他在哲学上的成就直到近年为止，一直被他作为艺术家的名声所掩盖。

列奥纳多是一位精力充沛、相当有名的律师塞尔·皮埃罗·达·芬奇(Ser Piero da Vinci)和一位名叫卡塔玲娜(Catarina)的可爱的农家女郎的私生子。他于1452年生于佛罗伦萨和比萨之间的芬奇。他受他父亲的教育。他接连在佛罗伦萨、米兰与罗马宫庭服务，1519 年死于法国。那时他是弗朗西斯一世 (Francis I) 的臣仆和朋友。幼年时他已经表现异常的才智，使他的同辈与后

[1] Edward McCurdy, *Leonardo da Vinci's Note Books, arranged and rendered into English*, 1906.

辈都觉得他的确是一个出类拔萃的人物。他的秀美的人材，优雅的态度，更是锦上添花，增进了他的思想与品格的力量。他对各种知识无不研究，对于各种艺术无不擅长。他是画家、雕塑家、工程师、建筑师、物理学家、生物学家、哲学家，而且在每一学科里他都登峰造极。在世界历史上可能没有人有过这样的纪录。他的成就虽已非常，但与他所开拓的新领域，他对于基本原理的把握，以及他对每一学科中的真正研究方法的洞察力比起来，就微不足道了。如果说彼特拉克是文艺复兴时代文学方面的前驱，列奥纳多就是其他部门的开路先锋。他和许多文艺复兴时代的人不同，既不是经院哲学家，也不是古典作家的盲目信徒。在他看来，对于自然界的观察与实验，是科学的独一无二的真方法。古代著作家的知识，作为研究的起点是有益的，但绝不能作为最后的定论。

列奥纳多是从实用方面接近科学的。正是由于这个幸运的情况，他的治学态度才那样的富于现代精神。为了要满足他的各种技艺的需要，他才去做实验，晚年时他对知识的渴求竟胜过对艺术的爱好，他作为画家，因而不能不研究光学的定律，眼睛的构造，人体解剖的细节以及雀鸟的飞翔。他作为民用及军事工程师，因而不能不正视一些只有了解动力学和静力学的原理才能解决的问题。亚里斯多德的意见，对于修改一幅不合画法的绘画，引水灌溉或攻取设防城市是没有多大帮助的。在这些问题上，事物的实际情况，比无所不知的希腊人对于事物的实际情况应该怎样的意见，要重要得多。 104

但列奥纳多也是哲学家，我们把他的思想方式和前一代的人比较一下，就可以看见有显著的不同，那就是他差不多完全摆脱了神学的成见。罗吉尔·培根虽然爱好研究，也仍然以为神学是一切知识的真正顶点与归宿，并且毫不怀疑一切学术如果了解得

正确，必定不会与当时的主要教义发生抵触。但列奥纳多却用完全不存成见的态度去推理。在他偶然论及神学的时候，他也对于教会制度中的恶习与不合理的地方坦白地、轻松地加以攻击。他自己的哲学好象是唯心主义的泛神论。从这个观点出发，他到处都看见宇宙的活生生的精神。但他又抱着伟大思想家的持平态度，看到不相干的恶下面的善，接受了基本的基督教义，作为他的内在的精神生活的可见的外在形式。他说，“我把圣经放在手边，因为它是最高的真理。”他是君子，也是伟人，他绝没有破坏偶像论者的狂热。他生在教庭既开明又讲人道的那个短短的时期里。当时一切迹象好象都说明就要出现一个新的无所不包的天主教，既准许人们虔诚地信仰基本信条，也准许人们保持思想自由。这个梦想不久便成泡影，罗马教会日益反动，思想自由不能不通过路德所开创的不足取的粗暴方法缓慢而艰苦地争夺回来。列奥纳多死后五十年，再要保持他那样的态度，就不可能了。

列奥纳多虽然伟大，但我们决不能以为他所表现的科学精神是他所开创的。阿尔贝提(Alberti,1404—1472年)在他以前研究过数学，并作过物理实验。他在佛罗伦萨遇见过鼓励哥伦布航行的天文学家托斯堪内里(Paolo Toscanelli，卒于1482年)；亚美利果·韦斯普西(Amerigo Vespucci)给过他一本几何学；他认识数学家帕西奥里(Luca Pacioli)。在解剖学的研究上他得到了安东尼奥·德拉·托尔(Antonio della Torre)的帮助。透视学和解剖学也有布伦内希(Brunelleschi)、波提舍里(Botticelli)、迪雷尔(Dürer)等人研究。列奥纳多同这些人共同创立了艺术上的自然主义。从列奥纳多的札记和别的记载中可以看出在伽利略出生以前一个世纪在意大利已经有一小批志同道合的人。他们对事物比对书本的兴趣大，对实验的研究比对亚里斯多德的意见看得更重。

毫无疑问，经院哲学由于告诉人们宇宙是可以了解的，的确使人们 105
在思想上有所准备。但是一到人们开始去观察和实验时，它所提出的解决方法便不中用了。那时需要有一个知识的新基础：亚里斯多德或托马斯·阿奎那的演绎，必须代之以从自然界而来的归纳，而这个基础最初是在意大利的数学家、天文学家与解剖学家那里找到的。

但在这些人实际上仍然和希腊思想有着联系，这就是和阿基米得的联系。当时，阿基米得的著作还没有印行，好的手抄本也很稀少。列奥纳多在札记里提到过可以给他找几个抄本的朋友和赞助人的姓名。他对于这位叙拉古人的天才表示钦佩。人们对于阿基米得的兴趣很快地就增加起来；1543年，数学家塔尔塔利亚(Tartaglia)印行了阿基米得的一部分著作的拉丁译本，其他的版本也相继出现。所以在伽利略的时代，阿基米得的著作已经为人熟悉，而伽利略更仔细地研究过它。近代物理学大师们的真正希腊始祖并不是百科全书式哲学家的亚里斯多德，而是几何学家和实验家的阿基米得。在有著作流传到今天的古典时代的著作家中，只有阿基米得最明显地具有真正的科学精神。

在弗兰西斯·培根把正确的实验方法加以不充分的哲学解释，和伽利略实行这种方法之前一个世纪，列奥纳多已经凭着直觉领会到，并且有效地运用过这种方法了。列奥纳多没有写过有关方法论的论文，但是从他的札记里可以附带地找到他对这个问题的见解。他说数学、算术与几何学在它们自己的范围内给人以绝对的确实性；它们是与普遍有效的理想的心理概念发生关系的。但是他认为真正的科学是从观察开始的；那时，如果能运用数学的推理，的确可以达到更大的确实性，但是“科学如果不是从实验中产生并以一种清晰实验结束，便是毫无用处的，充满谬误的，因为实验乃

是确实性之母”。科学给人以确实性，也给人以力量。只依靠实践而不依靠科学的人，就象行船人不用舵与罗盘一样。

当我们从列奥纳多的方法转到他的实际成果时，我们对他的见识不能不表示惊异。他预见到后来由伽利略加以实验证明的惯性原理。列奥纳多写道：“凡是感官可以觉察的东西都不能自己运动……每一物体在其运动的方向上都有一个重量。”他知道落体的速度随时间而增加，虽然他没有找出落过的空间与时间之间的确切关系。

106 他很清楚地了解把“永恒运动”作为动力来源在实验中是不可能的。在这方面，他走在布鲁杰斯的史特维纳斯（Stevinus of Bruges，1586年）的前面。他根据永恒运动不可能的知识，用虚速度的方法去证明杠杆的定律，这个原理，亚里斯多德早已知道，后来乌巴迪（Ubaldi）和伽利略也应用过。当一长度为 L 的长臂被一个较小的重量 w 迅速地以速度 V 拉向下时，另一端短臂 l 就缓慢地以速度 v 把较大的重量 W 向上举起；这里没有能量的得或失，每一端的能量都是重量和速度的乘积。于是：

$$Wv = wV.$$

而两端的速度又与其杆臂的长度成正比例，因此

$$Wl = wL \qquad \text{或} \frac{W}{w} = \frac{L}{l},$$

即重量与臂长成反比例。列奥纳多认为杠杆是基本的机械，其他机械都是杠杆变化与复杂化的结果。

他还重新发现了阿基米得的液体压力的概念；他证明在连通器中液体面有相同的高度，如以不同的液体装入两管之内，其高度与液体的密度成反比例。他还研究过流体力学：水通过注孔的射流，沟道内的水流，以及波浪在水面的传播等。他从水上波谈到空

气里的波以及声音的定律，并且认识到光也有许多类似的现象，因而波的理论也可应用于光。像的反射很象声音的反射；反射角等于入射角，同把球掷向墙壁时所发生的情况一样。

在天文学方面，列奥纳多认为天体是一架服从确定的自然法则的机器。这比当时流行的亚里斯多德的见解是大大前进了一步；亚里斯多德认为天体是神圣不朽的，与经常在改变与毁坏的我们的世界有本质上的不同。列奥纳多把地球叫做星，与其他的星星一样，并且打算在他计划要写的著作中说明地球也能象月球那样反射日光。列奥纳多的天文学虽然在细节上不免错误，但在精神上是正确的。

他认为事物早于文字，所以在有书籍记录以前，地球身上已经带有它的历史的痕迹。在现今内陆高山上发现的化石，原来本生长在海水中，它们不可能在诺亚洪水的四十天中跑到现在的地位去；107 事实上把世界上全部海和云的水合起来，也不能淹没地球上高山的顶。他说，一定有过地壳的变动，因此山岳就升高到新的地位。但这并不需要灾难性的变化："时间久了，波河(Po)就会在亚得里亚海中造出新的陆地，正如它过去淀积了伦巴第(Lombardy)大部分土地一样。"这里我们看见地质学上天律不变学说的要点，在赫顿(Hutton)提出以前三百年已经出现了。

画家与雕塑师的列奥纳多，感到需要对人体构造有精确知识。他不顾教会传统，弄到许多尸体，加以解剖。他的解剖图不但精细正确，且是真正的美术作品。有许多张还保存在温莎尔(Windsor)宫所藏的达·芬奇手稿之内。他说，"你们说你们宁肯看解剖表演而不肯看解剖图。如果真有可能在一个人体上看到这几幅解剖图所描写的所有细节的话，那你们是对的。但是，实际上，你们对一个人体尽力观察，也只能看到寥寥几条血管或得到这几条血管的

知识。而为了对这些血管得到准确完备的知识，我已经解剖过十个以上的尸体了。”

从解剖学再往前走一步，就是生理学。在这一方面，列奥纳多也远远走在他的时代的前面。他谈到血液怎样继续不断地建造整个人体，怎样把材料带到各部分，又把废料带走，好象火炉必须添柴与除灰一样。他研究过心脏的肌肉并画出了心脏瓣膜图。这些图似乎可以说明他了解心脏瓣膜的功能。他用水的循环来比血的运行。水由山流到河，由河流到海，再由海变成云，由云成为雨而回到山上。在哈维发现血液循环以前一百余年列奥纳多似乎就已经懂得血液循环的一般原理了。他的艺术还把他带到另一个科学问题，即眼睛的构造与其活动的方式。他制造了一个眼睛的视觉部分的模型，并说明像如何在视网膜上形成。他抛弃了当代流行的见解：所谓眼睛发出的光线落在它所要看的东西上面。

他鄙视炼金术、占星术与降神术的愚蠢行为。在他眼中，自然是有规律的，非魔术的，受支配于不可改变的必然性。

108 以上所说已经足够表现列奥纳多·达·芬奇在科学史上的地位了。如果他当初发表了他的著作的话，科学本来一定会一下就跳到一百年以后的局面。猜测这种情况对人类的学术与社会进步的影响，当然是毫无用处的，但是，我们可以万无一失地说，如果真有这种情况发生的话，人类的学术和社会演变一定都会大不相同了。

列奥纳多没有按照他的原定计划把他在各种学科方面的研究成果整理成书，但是他个人的影响显然是很大的。他是王公政客的朋友，也认识当时学术界的主要人物。他的许多思想无疑地由他们保留下来，后来帮助促进了科学的新发展。如果我们要在古今人物中选择一位来代表文艺复兴的真精神的话，我们一定会指出列奥纳多·达·芬奇这位巨人。

宗教改革

在一个有着多方面的学术兴趣的社会中，心理环境自然与一百年以前大不相同。事事都本着压倒一切的得救动机去观察的神学气氛已经被一个凡事都可用理性眼光去自由讨论的比较独立的观点所取代了。世界仍然是正统派的；在各时代里出现的许多异端都遭到了有效的武力镇压，更正确地说是，占了上风的学说被承认为正统教义。但在十六世纪的初年，正统派自身也惊醒过来，一度扩大了自己的范围：如果当初环境有利的话，爱拉斯谟所领导的宗教人文主义派本来很可以从内部对罗马教会加以改革，使之开明化。

宗教改革的发展与意义，是一个复杂的问题，不容易加以归纳，但科学思想史对于这样一个大变动的影响是不能不加以考虑的。宗教改革家有三个主要目标。第一，整顿由于有人滥用罗马会议，由于许多僧侣们生活放荡而遭到破坏的教律。第二，按照先前遭到镇压的某些运动的方针改革教义，并返回原始的质朴状态。第三，放松教义控制，准许个人在一定程度上可以自由地根据圣经作出自己的判断。

在三个目标当中，第一个目标深受人民的欢迎。因为它是针对着罗马教会自己也承认的公开腐败现象而发的。第二个目标也同样重要，因为中古时代的思想方式仍然有很大力量，而改变与发展的观念在中世纪还是陌生的。仪式与教义的改革，只有在人们相信这种改革有先例，而且有比罗马教皇更高的权威（原始基督教会的信仰与实践）做根据的时候，才能得到人们的拥护。就是在现在，也还不止一次地有人把“头四个世纪”拿来做根据，可是从这些人的著作看来，他们对于这几个世纪并没什么了解。 109

同我们有关系的主要是宗教改革者的第三个目标。它所以同

我们有关系，是因为这是文艺复兴的后果，也是这个运动中的人文主义因素的真正推动力。但和在革命里常见的情况一样，学术问题被搁在一边。如果真有人在这方面做一些工作的话，也只有宗教狂热者或具有政治动机的日耳曼王公才可以做一点粗浅的工作，加尔文（Calvin）对于自由思想的迫害并不亚于罗马的宗教法庭。幸而他没有中世纪教会的权力做后盾；而宗教改革所造成的基督教界的分崩离析的局面，虽从许多方面看来是一件可悲的事，但到头来还是间接帮助了思想自由的实现。

哥白尼

文艺复兴以后，科学观点的第一次重大改变，是尼古拉·哥白尼（Nicolaus Koppernigk，1473—1543年）完成的。他是数学家与天文学家。父亲是波兰人，母亲是德国人。他的姓后来用拉丁语写成Copernicus。在当时的观察所要求的精确度范围以内，希帕克和托勒密的地球中心说用来解释事实是相当成功的。从几何学的观点看来，这个学说的唯一弱点是它的均轮与本轮的繁复性。可是在这学说的后面，有两大支柱：一是常识的感觉（大地是万物向它坠落的坚实不动的基础），一是亚里斯多德的权威。一般人以为大地在他们的足下静止不动，虽然有些人想象它是浮在宇宙中心的球。因此哥白尼必须维护两个命题：埃克番达斯关于地球绕自己的轴周日自转的主张及阿利斯塔克关于地球绕太阳周年公转的主张。哥白尼的反对者，从科学与宗教两方面而来。如果地球围绕自己的轴旋转，向上抛出的物体下落时岂不要落在抛出点的西面吗？松动的物体不是会飞出地面，而地球本身不是会有分裂的危险吗？地球既然绕太阳运行，那么，恒星如果不是遥远到荒谬的地步——即令还不是不可想象的地步——的话，恒星间相互的

位置看起来不是会变动不定吗？

要对付当时认为完全合理的这些论据，并提出一个相反的理论，不但需要有极大的独创才能，而且需要有某种哲学观点，以便为自己的学说辩护。那时，亚里斯多德的经院哲学独霸思想界已有一个世纪，在阿尔卑斯山以北，只有奥卡姆的唯名论是它的有力的对手；但柏拉图的唯心主义的唯实论，特别是经圣奥古斯丁解释的，还在意大利存留着。新柏拉图主义里面，有浓厚的毕达哥拉斯成分。它喜欢用数的神秘谐和或单位空间的几何学安排去解释宇宙[1]。因此毕达哥拉斯派与新柏拉图派总是要在自然界中寻找数学关系，关系愈单简，从数学上看来就愈好，因而从这个观点来看也就愈接近于自然。而且，在当时有著作传世的古代人中，只有毕达哥拉斯认为地球是围绕一团中央火运行的。因此，文艺复兴时期的科学，虽然主要是靠了从欧几里得和别的希腊数学家那里得来的方法成长起来的[2]，但是同时还存在有形而上学的成分。 110

在十五、十六世纪，当人心被新旧思潮所激动的时候，具有这种毕达哥拉斯成分的柏拉图主义又在意大利复活了。米兰多拉的约翰·皮科（John Pico of Mirandola）教人用数学去解释世界，波伦亚大学的数学和天文学教授马利亚·德·诺瓦腊（Maria de Novara）批评托勒密体系太繁复，不合于数学谐和的原理。

哥白尼在意大利住了六年，成了诺瓦腊的学生。他说他仔细研究过他找得到的一切哲学家的著作，并发现：

据西塞罗说，希塞塔斯（Hicetas）认为大地是动的……普卢塔克说，有某些别的人也持有同样的见解。……当我从这里觉到有这种可能的时候，我

---

① 参看17，18页，并 E. A. Burtt 上引书。

② E. W. Strong, *Procedures and Metaphysics*, California, 1936, *Isis*, No. 78, 1938, p.110.

自己也开始思考大地的运动了。……经过长久的多次的观察之后，我最后发现，如果除了地球的自转之外把其他行星的运动也考虑在内，并计算出其他行星的公转和地球的公转，我们就不但可以由此推出其他行星的现象，而且还可以把所有的行星、天球以及天本身的次序与大小都联系起来，以致在任何一个部分里，改变一件东西，就必然要在其他部分及整个宇宙中造成混乱。因为这个缘故……我愿意采纳这个体系①。

111 哥白尼描写他的宇宙理论如下：

首先，存在着包罗它自身与万物的由恒星组成的天球，因为这个缘故，它是不动的；事实上它是宇宙的间架，别的一切星星的位置与运动都是对它而言的。虽然有人以为它以某种方式运动，但我们认为，它看起来好象在运动的另一个原因就在于我们的地动说。在运动着的天体中，第一是土星，三十年绕日一周。其次是木星，十二年一周。再其次是火星两年一周。第四是每年一周的轨道，我们说过其中包含地球，加上本轮式的月球轨道。第五是金星，九个月一周。水星占第六位，八十天一周。处在这些行星中间的是太阳。在这极美丽的庙堂中，谁能把这个火炬放在更好的地位，使它的光明同时照到整个体系呢？有人把太阳叫做宇宙的灯，有人叫做宇宙的心，更有人叫做宇宙的统治者，都没有什么不适当。特里斯梅季塔斯(Trismegistus)称它为可见的神，索福克勒斯叫它做埃勒克特腊(Electra)，即万物的心。这些称号都很正确，因为，太阳就坐在皇帝宝座上，管理着周围的恒星家庭。……这样，我们就发现在这样有秩序的安排下，宇宙里有一种奇妙的对称，轨道的大小与运动都有一定的谐和关系。这样的情形是用别的方法达不到的②。

由此可见哥白尼心中最重要的问题是：行星应该有怎样的运动，才会产生最单简而最谐和的天体几何学。从上面所引用的一段话，以及附图看来，他接受了古人的这一见解：恒星固定在一个

① Copernicus, *De Revolutionibus Orbium Celestium*, Letter to Pope Paul Ⅲ, quoted by E. A. Burtt, in *Metaphysical Foundations of Modern Science*, p. 37.

② *De Revolutionibus Orbium Celestium*, Lib. I, Cap.X; Eng. trans. W. C. D. and M. D. Whetham, *Readings in the Literature of Science*, Cambridge, 1924, p. 13.

天球上面，但有某种证据表明外面的圆周是指同无限空间搭界的天球里面的凹面[①]。哥白尼认识到他把行星运动的座标参照系由地球移到恒星上去了。这就牵涉到物理上和数学上的一场革命，而且足以摧毁亚里斯多德的物理学与天文学。托勒密认为地球如果在动就会分裂为碎片，哥白尼答辩说，天球如果在运动，分裂的危险更大，因为它的周边更大，因此如果它运转的话，速度一定更快。

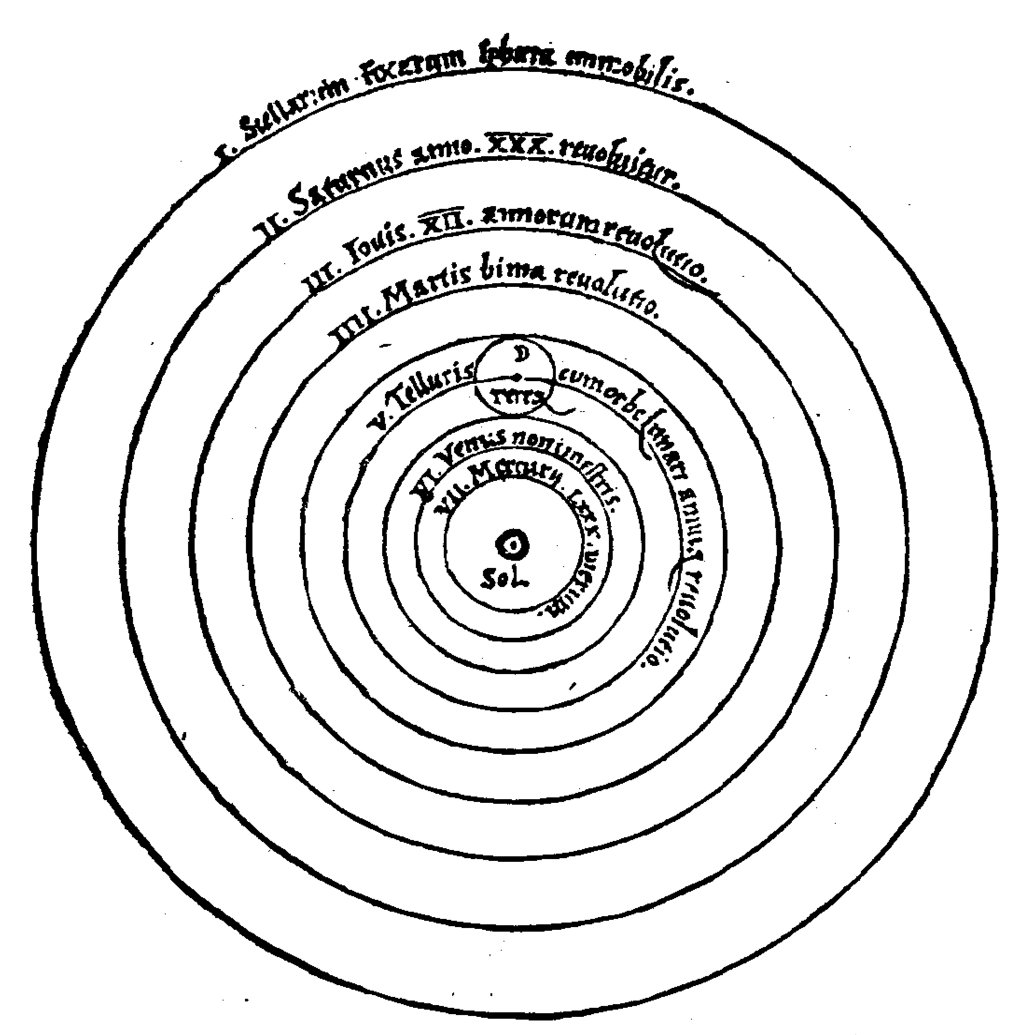


图 1 Ⅰ.恒星天层。Ⅱ.土星，三十年一转。Ⅲ.木星，十二年一转。Ⅳ.火星，二年一转。Ⅴ.地球带着月球，一年一转。Ⅵ.金星，九月一转。Ⅶ.水星，八十天。中心是太阳。

① G.McColley, *De Revolutionibus*, *Isis*, No.82, 1939, p.452.

这是一个物理的推论，但哥白尼着重的是数学的谐和。他恳求数学家接受他的见解，理由是他的体系比托勒密所说的均轮和本轮，即天体围绕地球运行时所遵循的均轮和本轮简单得多。

1530年左右，为了叙述他的研究成果，他写了一篇论文，同年以通俗的形式发表了这篇论文的提要。教皇克力门七世表示赞许，并要求作者将全文发表。一直到1540年，哥白尼才答应了这个要求；到1543年，这本书的第一册印刷本送到他面前的时候，他已在临终的病床之上了。

112

哥白尼的体系的胜利是姗姗来迟的。有少数数学家，如约翰·菲尔德 (John Field)，约翰·迪伊 (John Dee)，雷科德 (Robert Recorde)与夫里希斯 (Gemma Frisius) 接受了这一体系，第一个英国的信从者迪杰斯(Thomas Digges) 还对于哥白尼的体系作了一个重大的改进，用布有恒星的无限空间，去代替不动的恒星天球。但是一直到伽利略把他新发明的望远镜指向天空，发现木星及其卫星，好象是一个缩小了的太阳系的时候，哥白尼的理论才声名大著。

哥白尼教人用新的眼光去观察世界。地球从宇宙的中心降到行星之一的较低地位。这样一个改变不一定意味着把人类从万物之灵的高傲地位贬降下来，但却肯定使人对于那个信念的可靠性发生怀疑。因此，哥白尼的天文学不但把经院学派纳入自己体系内的托勒密的学说摧毁了，而且还在更重要的方面影响了人们的思想与信仰。

113

由此产生的疑惧不安，是不奇怪的。当时欧洲正在宗教问题上有所争执，但所争论的题目并不牵涉更深邃的问题。两方面都接受一种宗教哲学，这种哲学给人以高贵的地位，并且使人感觉在这个世界上生活是安适的，因为大家都同意这个世界是为他们的根

本利益而创造的，虽然造物的直接表现有时好象是不必要地神秘。而且，当时最好的科学意见，是反对这个新体系的。罗马和日内瓦都认为是异端的布鲁诺等革命知识分子或许赞成哥白尼的见解，但比较谨慎的哲学家都敬而远之。布鲁诺也相信宇宙是无限的，而星星则散布于无尽的空间里。布鲁诺是热忱的泛神论者，公开地攻击一切正统的信仰。他受到教会法庭的审判，不是为了他的科学，而是由于他的哲学，由于他热中于宗教改革；他于1600年被教庭烧死。

依照当时的习惯，对于欧洲的学术及精神生活负有责任的人们，踌躇不前，不敢接受这个天文学说，是完全理所当然的，因为这个学说可能破坏他们自己最深的信念，并且象他们所想的那样，还可能使他们负责保护的不朽灵魂陷于危险。当伽利略带着满腔热忱到教庭去宣传这个学说的时候，冲突便无可避免了。当时的学术界主要属于亚里斯多德派。他们催促教士们采取行动。果然，在1530年对这个新学说表现了开明的兴趣的教廷，到1616年就禁止伽利略说话，并且由红衣主教柏拉明(Bellarmine)宣布哥白尼的学说是“错谬的和完全违背圣经的”；哥白尼的书在未经改正以前不许发行，但是这个学说还可以当作一个数学假说来讲授。1620年盖塔尼(Gaetani)主教按照这样的方针对这本书作了小小的改变。停刊的命令一直没有得到教皇的批准；1757年就取消了这个命令，1822年太阳就得到教庭的正式裁可，成为行星系的中心。

惠威尔对于这件事有过明白而公正的评述，但晚近的作家对于伽利略因为维护哥白尼学说而受到的迫害，却有些过分夸张。正象怀德海所说：

在发生三十年战争和荷兰的阿尔发(Alva)事件的那三十年中科学家所遇到的最坏遭遇就是，伽利略在平安地死于病榻以前，受到体面的软禁与轻

微的申斥。

114

自然史、医学与化学

普林尼以后就没有人研究动物和植物了。十六世纪里有六位博物学者重新拾起这一工作。他们是：沃顿(Wotton，1492—1555年)、贝隆(Belon，1517—1564年)、朗德勒(Rondelet，1507—1566年)、萨维阿尼(Salviani，1514—1572年)、格斯内(Gesner，1516—1565年)与阿德罗范迪(Aldrovandi，约1525—1606年)①。他们主要是想恢复"古代学术"。至于博物学家进行的许多新观察，那是以后的事。

文艺复兴期间兴起了一个医学人文主义学派，他们的目的是促使人们把注意力从多半是由希腊著作的注释家（一部分经过阿拉伯人的转递）得来的中世纪医学，转移到这门学科的源头，即希波克拉底和盖伦的著作上去。这个运动无疑大大增进了人们的知识，但是在这些知识系统化了之后，医生们又回到过分依赖权威的道路上去了。

这一阶段过去之后，人们又开始观察、思考与实验。有一个时候，医学与刚从炼金术中脱胎出来的化学发生亲密的联系，因而出现一个研究化学的医学学派，后来被称为医药化学家。

阿拉伯的化学与炼金术在中世纪后期传到欧洲，影响了罗吉尔·培根等人的工作。阿拉伯人采纳并修改了毕达哥拉斯的理论：基本元素应当到原质或特质中去寻找，而不应该到物质中去寻找。他们相信基本的原质是硫（即火），汞（即水）和盐（即固体）（参看73页）。这个理论与阿拉伯的其他学术同时输入欧洲。十五世纪后

① Gudger, *Isis*, No.63, 1934, p.21.

半期多明我会僧侣瓦郎提恩(Basil Valentine)对这个学说大力加以鼓吹。

在研究这个理论时,我们必须了解,象希腊人的四元素说一样,这个学说是由于要解释火的神秘作用而产生的。这里的"硫"并不是指具有一定原子量和化学性质、我们称之为硫的那种物质,而是指任何物体中可以使这个物体燃烧和燃烧一空的那个部分,"汞"是指可蒸馏成液体的那个部分,"盐"是固体的残渣。这些原质之外,瓦郎提恩更加上一个生基(*Archaeus*),别的炼金家加上一种"天德",即决定包括化学变化在内的宇宙的一切现象的宇宙统治者。文艺复兴时期化学带到医学中去的,便是这一类观念。

现在我们来谈谈一位富于冒险精神的人物:霍亨海姆或帕腊塞耳苏斯(Theophrast von Hohenheim or Paracelsus,约1490—1541年)①。这位瑞士医生,是首先摆脱古典正统的盖伦学派的人士之一。他在蒂罗尔(Tyrol)矿场一视同仁地研究了一些岩石、矿物、机器发明以及与矿工生活和环境有关的情况、意外事故和疾病。1514至1526年间他在欧洲许多地方流浪,研究各国的疾病与其治疗的方法,以后作为一个医学教员,在巴塞尔(Basle)住下来,那里人们按照罗马时代一位大医生塞耳苏斯(Celsus)的名字给他起了一个新名字,但他接受这个名字时显然很勉强。他在巴塞尔受到医药界特权阶级的反对,在那里住了一年就离开了。

115

作为一个医生,他抛开了盖伦和阿维森纳,而把他自己的观察与实验的结果应用到医疗问题上。他说:"人们靠内心的默想,绝

① Complete Works, ed. by K. Sudhoff, München, 1922……; *Isis*, VI, 56; Anna Stoddart, *Paracelsus*, 1915; Franz Strunz, *Theophrastus Paracelsus*, Leipzig, 1937; W. Pagel, *Isis*, No. 77, 1938, p. 469; E. Rosenstock, *Huessy*, Hanover, N. H. 1937.

不会知道万物的本性……”。关于医生，他说，“眼所看见的，手所接触的，才是他的老师。”科学是在神创造的万物里寻找神，医学是神给与人的赠品。

霍亨海姆在把化学应用到医学上去的时候，有许多化学上的发现。例如，他认识到空气的复杂性，把它叫做“混沌气”(chaos)；他在“硫”这个总称下描写了他得到的一种“矾精”，这显然是醚。他说，“这个东西有可爱的气味，就是鸡也喜欢吃，鸡吃了之后就睡一会，但醒来不受损害”①。可怪的是醚的麻醉性虽被发现，却不为人所看重。首先明白叙述利用矾油(即硫酸)与酒精的作用制造醚的过程的人是科达斯(Valerius Cordus, 1515—1544年)。他是医生和植物学家。与炼金家不同，他对于制备的过程有明确的叙述，说明他已由炼金术进入化学了。

帕腊塞耳苏斯的追随者与盖伦派不同之处是把化学药品应用在医疗上。不消说，他们医死了许多人，但这样他们至少进行了实验。他们发现了许多有价值的药品，因而附带地增进了化学的知识。比林格塞奥(Vannoccio Biringuccio)对矿物学进行了研究，开辟了地质学的道路。他于1540年在威尼斯发表了他的《火焰术》，说明他对矿石、金属、和盐类有一定的实际知识。后来，在约阿希姆斯塔尔(Joachimsthal)矿工作的阿格里科拉(Agricola, 1490—1555年)在巴塞尔发表了《金属学》，对《火焰术》的很多内容都加以利用。范·赫耳蒙特(van Helmont)也做了一些重要工作。他是一位神秘主义者，1577年生于布鲁塞尔。和帕腊塞耳苏斯一样，他也把科学和宗教联系起来。他认识了许多气体物质。他根据霍亨海姆的“chaos”一词，创立了“gas”一词来称呼气体。他把四种元素

116

① Translation by C. D. Leake, in *Isis*, No. 21, 1925, p. 22.

减少到一种，并且象泰勒斯一样，认为这种单一的元素就是水。他在量过的干土中种了一株柳树，只浇上一些水，到了五年以后，这株柳树的重量增加了164磅，而土质的损失仅有2盎司[①]。这表明柳树的新物质差不多全部是由水生成的。在一百多年以后，英根豪茨(Ingenhousz)与普利斯特列(Priestley)证明绿色植物从空气中的二氧化碳吸收碳素以前，这种看法一直盛行不衰。

最先把新的物理知识应用到医学上去的是散克托留斯(Sanctorius, 1561—1636年)。他把伽利略温度计加以改良，并且用这种温度计来测量人体的温度。他还设计了一种比较脉搏速度的仪器。他用天秤来量他自己的体重，以研究体重的变化，并发现单是暴露在阳光中就可以减少体重。他认为这种体重的减轻是看不见的发汗造成的。精确的天秤也许是炼金家遗留给后来的化学家和物理学家的最好的遗产。

弗兰苏瓦·杜布瓦(Francois Dubois, 1614—1672年)——他的为人熟悉的拉丁名字是弗兰西瑟斯·西耳维斯(Franciscus Sylvius)——研究了范·赫耳蒙特的著作，把化学应用于医学，创立了一个确定的医药化学学派。他认为人身的健康依赖于体内的酸性或硷性的液体。这两种液体结合成一种比较缓和的中性的物质。化学和医学都采用了这个理论。这个理论有重大的历史上的重要性，因为这是第一个不以火的现象为根据的普通化学理论。它引导勒默里(Lémery)与马克尔(Macquer)把酸类与硷类明白地区分开来。正是由于认识到不同物体中这些相反的性质及其互相结合——有时，这种结合还十分猛烈——的倾向，人们才形成化学吸力或亲合力的观念。也是由于看到中性物质以这种方式形成，人

① 盎司(ounce)，即英两，一磅的1/16。——译注

们才断定一切盐类都是酸与硷化合而成的。这是把化合物按一系列类型加以分类的先声。这个理论对于十九世纪有机化学起了极大的推动作用。

117

解剖学与生理学

反对人体解剖的偏见，在欧洲流行颇久，直到十三世纪盖伦与其阿拉伯的注释家的著作出现以后，人们才重新开始研究解剖学。最早一位出色的人物是蒙迪诺(Mondino)。他死于1327年。差不多就在他的工作成果发表以后，这个科目就变成千篇一律的了。虽然大学的正规医科课程里都有解剖课，但是这种解剖工作都严格依照盖伦、阿维森纳或蒙迪诺的教本进行的，而且也是为了用例证说明这些教材才进行的，根本不想增加知识①。因此，解剖学在十五世纪的最后十年以前，一直没有什么进步。只有列奥纳多的札记记载了一些新的发现，而他的札记对当代人却没有产生普遍的影响。到十五世纪最后十年中，曼弗雷迪(Manfredi)才写了一本专著，原稿还保存在博德利亚(Bodleian)图书馆内②。书中记载了各名家工作成果的比较和一些新的观察结果。不久以后卡尔皮 (Carpi) 对解剖学也有一些贡献，但现代解剖学和生理学到让·费内尔(Jean Fernel, 1497—1558年)才算真正开始。他是医生、哲学家、数学家，1542年发表了《物理奥秘》③。这以后有维萨留斯(Andreas Vesalius, 1515—1564年)，他是法兰德斯人，在

① Sir Michael Foster, *Lectures on the History of physiology*, Cambridge, 1902.

② *Studies in the History and Method of Science*, ed. dy C.Singer, Oxford, 1917.

③ Sir Charles Sherrington, *The Endeavour of Jean Fernel*, Cambridge, 1946.

卢万与巴黎受过教育，并在帕多瓦(Padua)、波伦亚和比萨教过书。他背叛了盖伦，于1543年发表了《人体结构论》。这本解剖学著作不以盖伦和蒙迪诺的学说为依据，而以他自己在解剖过程中所看见的和能够表演的现象为根据。他在这方面有不少贡献，他对骨、脉、腹、脑各器官的研究尤为出色。他大体上接受了盖伦的生理学，但也叙述了他自己在动物身上进行的一些实验。他的著作引起了人们的非难。愤激之余，他就在1544年抛弃了研究工作，去担任查理五世的御医。

十六世纪结束以前，解剖学就已经摆脱了古代权威的束缚了。这是生物科学中摆脱古代权威的束缚最早的一门。生理学摆脱这种束缚比较迟，因为盖伦的学说阻拦了道路。我们说过盖伦认为动脉血与静脉血是心脏所推动的一涨一落的两股潮流。一个把“生命元气”(vital spirit)带到人体的各种组织中去；一个把“自然元气”(natural spirit)带到身体的各种组织中去。正如福斯特所说：

> 现今我们对于身体的任何作用与过程的看法，都以这样一个事实为其基本根据：身体内每一组织单位的生命都有赖于这个身体直接间接地浸渍在血液中。动脉血带着氧到那里，而静脉血又把活动所造成的物质带走。我们应记住按照盖伦的理论是不可能形成这样的见解的，因为他认为每一组织都有两种不同的血液一涨一落，来往其间，一种在静脉中运行，另一种在动脉中运行，完成两个不同的目的。我们还应记住，盖伦这种关于静脉与动脉的用处的学说与盖伦关于心脏的作用的学说是分不开的……血经过看不见的隔膜孔道由心脏的右边神秘地转移到左边……。如果采取这个看法，我们立刻就可以看出，从学术上来说，关于人体心脏的机制的真正学说，的确仿佛是全部生理学的心脏。

118

塞尔维特(Michael Servetus)是阿拉贡(Aragon)的医生与神学家。他因为持非正统派的意见，为加尔文所定罪，焚死于日内瓦。他发现血通过肺循环，但这种循环的机制以及心脏在维持血流方

面的功能，虽然在1593年经克萨皮纳斯(Caesalpinus)提出一些巧妙的富于启发性的见解，但直到威廉·哈维(William Harvey, 1578—1657年)"专心于活体解剖"时，才向人们揭露出来。

1578年哈维生于福克斯通(Folkestone)。他是肯特郡(Kent)的一个富农或小绅士的儿子。在冈维尔(Gonville)和剑桥的加伊斯(Caius)学院学习之后，他去外国游历了五年，大部分时间在帕多瓦。二十四岁时他回英国开业行医。弗兰西斯·培根做过他的病人。他担任过詹姆斯一世的御医。当时有不少妇女被控告施行妖术，当代这位最富于现代精神的生理学家的职务竟然是负责对这些妇女进行医学检查。幸而，他检查出这些女人都没有什么生理上的异状，因而这些妇女都被无罪开释了。哈维与查理一世也极亲密。国王把温索尔鹿苑和汉普顿宫的产品交给他，供他实验，并且同他一起观察过小鸡在卵中的发育，及小鸡的活的心脏的跳动[①]。在这位英王第一次远征时，哈维也随军出征，在边山(Edge-hill)之战时，他是王子们的保护人。据说当战争方酣时他还坐在树下读书。他随他的主人退休回到牛津，做了一些时候麦尔顿市立学校的校长。他所写的讨论心脏的书《心血运动论》于1628年出版。这本书篇幅虽然不大，但包含了作者多年来对于人与活的动物观察的结果，发生了极大的影响。这本书出版后，盖伦的生理学立刻就显得过时了，可是据说，正是由于他离开了盖伦的生理学，"他的业务也受到很大的损害"。

119　哈维指出，如果我们拿每一次心脏跳动所送出的血液数量与半小时内心脏跳动的次数相乘，我们就可以发现在这个时间内心

① 自从亚里斯多德以后，第一个作这个实验的是阿夸彭登特的法布里夏斯(Fabricius of Aquapendente, 1537—1619年)，见Foster，上引书，36页。

脏所输送的血量，与全身所有的血一样多。他于是推断说，血液一定是设法从动脉流到静脉里，然后再回到心脏：

我开始考虑是不是有一种循环的运动。后来我发现实际情况就是这样；最后我看到靠了左心室的作用流入动脉管的血液被分布到全身和身体各部分，正象靠了右心室的作用流入右肺动脉管的血液流经两肺一样。然后它经过静脉管，沿腔静脉回到左心室，象上面所说过的那样。这样的运动也许可以叫做循环。

哈维达到这个重要的观念，不是靠了思辨，也不是靠了先验的推理，而是靠了一系列步骤，每一步骤又都是根据利用解剖方法对心脏所进行的观察，或者如他自己所说的，根据“反复的活体解剖”。正象维萨留斯创立了现代解剖学一样，哈维也把生理学放到观察与实验的正确道路上来，使现代内科与外科医学成为可能。

要领会哈维的工作的重要性，我们必须把他的工作和他的前辈与同时人的工作比较一下，这些人在解释身体的功能时都求助于什么天然元气、生命元气和血气。哈维很少提到这些观念，他把循环问题看做是一个生理机制问题，并按这个想法来解决问题。他的第二部书《动物的生殖》，出版于1651年，是亚里斯多德以后在胚胎学上贡献最大的一部著作。

哈维死于1657年。他没有子女，遗嘱把他的产业捐赠给皇家医学院用于“发现并研究自然的秘奥”。

在哈维发现血液循环之后，不久又发现了把消化所得的养分带到血流中去的乳糜管和淋巴管，足以补充前一发现。但是，一直到把新发明的显微镜用到生理学上的时候，他的工作才算完成。在利用显微镜看见纤细的组织以前，人们都以为动脉把血液输到肌肉里去，再由静脉从肌肉里把血液收集回去。肌肉被认为是一种无结构的主质(parenchyma)。

复显微镜发明于1590年，发明人大概是詹森(Janssen)[1]。早期的复显微镜在高倍率时所生成的像，是歪曲而带颜色的。1650年左右单透镜改进之后，便有了很有用的研究仪器。

120

1661年，波伦亚的马尔比基(Malpighi)用显微镜研究了肺的结构。他发现气管分支的末端是一些膨胀开来的空气管，在这些空气管的表面上分布有动脉与静脉。最后，他在一个青蛙的肺上，发现了动脉与静脉之间有毛细管连结着。他说："因此，感官明白告诉我们，血在弯弯曲曲的管中流动，不是倾注于空间，而总是装在小管子中，血液所以能分散于周身是由于血管的多重弯曲的缘故。"[2]

马尔比基还用显微镜研究了腺与人体的其他器官，对于我们认识它们的结构与功能，有很大的贡献。哈维证明血液穿过组织流动，马尔比基发现组织是什么，血液怎样在其间流动。

他对于现代胚胎学的建立，也有许多贡献。亚里斯多德观察过小鸡怎样在卵中成形。法布里夏斯(Fabricius)等人重新进行了这种观察，哈维晚年也进行过这样的观察。但最先描写鸡卵中的一个不透明的白点在显微镜下变成小鸡的变化过程的是马尔比基。他的工作由雷汶胡克(A. van Leeuwenhoek, 1632—1723年)继续推进。他用单显微镜研究了毛细管循环和肌肉纤维。他观察了血球、精子与细菌，并绘出了它们的形象。

肌肉运动的机制在1670年左右，首先由波雷里(Borelli)加以充分的研究，大致与此同时格里森(Glisson)研究了肌肉的过敏性。格里森驳斥了肌肉动作时由于充满"动物元气"而膨胀的意见。

---

① A. N. Disney with C. F. Hill and W. E. W. Baker, *Origin and Development of the Microscope*, London, 1928.

② Foster，上引书97页。

他证明肌肉不但没有膨胀，实际反而缩小了。他还写了一本讨论佝偻病的书，叙述他对多塞特郡(Dorset)儿童病状的观察结果。

研究血液循环自然要遇到呼吸及其与燃烧的相似性的问题。虽然在历史上这个问题有一部分是后来的事，但我们也不妨在这里提一下。1617年，弗拉德(Fludd)把一个玻璃器皿倒立在水面上，在器皿里燃烧一些物体，结果，器皿内的空气体积有了一定缩小，接着火焰就熄灭了。

波雷里应用伽利略、托里拆利和帕斯卡尔的物理学，阐明了呼吸的机制，证明动物在真空里会死去。波义耳(Robert Boyle, 1627—1691年)、胡克(Robert Hooke, 1635—1703年)与洛厄(Richard Lower, 1631—1691年)等人也研究过这些问题，证明空气不是纯粹的，而含有一种活跃的成分，“硝气精”，是呼吸与燃烧都需要的，这显然就是现代人所说的氧气。法国人莱伊(Rey)发现金属燃烧后重量增加，他认为这是与“硝气粒子”结合的结果。至于呼吸，胡克证明，如果把一股气流不断地吹到肺的表面上去的话，胸壁的运动对于维持生命就不是必要的。劳尔在1669年发表的《心脏论》中宣布了他的发现：血的颜色由深紫到鲜红的变化（这变化是由静脉血变成动脉血的标志），不象我们所设想的那样是在左心室里发生的，而是在肺里发生的。他利用胡克的人工呼吸实验，弄清颜色的改变完全是由于血液在肺中和空气接触，吸收了一些空气的缘故。马约(John Mayow)在1669年发表、1674年再版的一本书中，把这方面的大部分研究成果加以总结，还加上了他自己的一些研究成果①。他阐明了不久以前关于呼吸与燃烧的研究成果并

121

① T. S. Patterson, "John Mayow in Contemporary Setting", *Isis*, Feb. and Sept. 1931.

且阐明了呼吸与燃烧同硝的关系。他说："火药所以很容易自己着火，是由于其中有易燃气的颗粒……含硫物只有在空气给它带去的可燃气的帮助下才能燃烧"。小动物放在密闭的器皿中会死去，如果在里面放上一支燃着的蜡烛，这个小动物就死得更快。"事情看来很清楚，动物把空气中某些生命必需的质点用尽了，……空气中含有生命所绝对必需的某种成分，这种成分在呼吸时进入血液里去。"他追随劳尔之后推断这种成分就是"硝气精"，它与"血中的盐硫质点结合起来就使血发热"。这一切健全的研究成果后来被人遗忘了，直到一百年以后方由拉瓦锡重新发现。

洛厄还把一个动物的血输入到另一个动物的静脉里去，雷恩(Wren)也进行过这个实验。洛厄还和威利斯(Willis)一起进行过脑神经的解剖研究。这样，我们的话题就转到大脑和神经系统的生理学在当代的发展上来了。

维萨留斯接受了当时流行的意见，认为食物在肝里获得了"天然元气"，到了心脏里天然元气变为"生命元气"，在大脑中成为122 "动物元气"，"动物元气是最活泼最精微的东西，事实上就是一种性质，而不是实在的东西。一方面，大脑利用这种元气来发挥主要灵魂的作用，另一方面它又不断地利用神经把这种元气分布给感官与运动的工具。"他指出把某个神经切断或紧缚，就可以使某个肌肉不起作用。

"但是"，他说，"大脑怎样能执行它的想象、推理、思想与记忆的功能……我一点也不知道。我也不相信利用解剖或某些神学家的方法可以有更多的发现，这些神学家认为禽兽根本就沒有推理的能力，事实上根本就沒有我们所谓的主要灵魂的各种能力。可是就脑的结构来说，猴、犬、马、猫以及我检查过的一切四足动物，乃至鸟和许多鱼类，它们的脑差不多在每一特点上，都和人脑相似。"

另一方面，范·赫耳蒙特却认为植物与禽兽没有灵魂，它们只有“某种生命力……这是灵魂的前驱”。在人类，有感觉的灵魂是一切身体功能的总管。它通过它的奴仆“生基”(*archaei*)而工作，这些生基又利用与酿酒所用的酵母相类的东西直接作用于身体的各种器官。灵魂住在胃的生基里，好象光存在在燃着的烛里一样。有感觉的灵魂是要死的，但与不死的心灵同存在于人身。范·赫耳蒙特是一位优秀的化学家，但他的思辨的生理学不可能增进知识。

他所想象的“有感觉的灵魂”与“不死的心灵”，和“动物元气”迥然不同，而相当于我们现在所说的神经组织的活动。哲学家笛卡尔所说的“理性的灵魂”也是这样。以后我们还要更充分地说明，正是由于把两者区别开来，笛卡尔才能够接受并利用关于神经现象的最严格的机械概念。

同时西耳维斯把通过化学实验得来的知识应用到生理学上去。他和范·赫耳蒙特一样，把活的人体内发生的许多变化看做是发酵作用。但范·赫耳蒙特以为发酵是由于一些微妙的作用力，其效果与一般化学变化完全不同，西耳维斯则否认这一区别。在他看来，生理的发酵和把酸倾注到白垩上时所发生的沸腾现象是同类的。所以他和范·赫耳蒙特的唯灵论的见解相反，主张从化学的观点去研究生理学。因此，他和他的学生能够在消化器官的研究上得到有益的进展，不过，这种观点在当时对于阐明神经现象却不能够有很大的帮助。 123

事实上，脑和神经系统的生理学在十八世纪以前就很少进步。1669年，斯坦森(Stensen)对于早期的思辨提出的批评是再好也不过了。他指出脑的解剖有很大的困难而且还缺乏健全的解剖知识，他跟着说：

很多很多的人以为一切都很清楚了。这些人信心十足，信口雌黄，制造并

发表了关于大脑及其某些部分的用处的故事，而且讲得煞有其事，仿佛他们亲眼看见这样一部值得称赞的机器的结构，并且探得了伟大造物者的秘密似的。

斯坦森自己的贡献，比他所讽刺的哲学家和医生都要多些。他根据解剖所得的结果，提出了一个极富于启发性的见解，成为十九世纪最后几十年的某些发现的先声：

如果我现在所说的白色物质的确完全是（从大多数地方看来它好象是）纤维性的组织，我们就必须承认这些纤维是按照一定的图案排列起来的，不同的感觉与运动毫无疑问就决定于这种排列。

植物学

植物药品在医疗上的应用，引起人们研究植物的兴趣，这门科学原来是寺院花园内传统学问的一个部门。中世纪的象征主义迟迟不愿放松对植物学的控制。在植物学中，这种象征主义以"表征"理论的姿态出现，认为植物的叶的形状或花的颜色都是造物者给这种植物指定的用途的标记。

文艺复兴以后，生活更加有了保险，财富也增加了，艺术感情也发达起来，人们也就纷纷设立起私家花园和菜园，更加普遍地种植起花草树木菜蔬来了。因此，一半由于药草的需要，一半由于对天然界的好奇心，以及更加爱好颜色和美，在十六世纪里，植物知识有了很大发展。

植物园于1545年先后在帕多瓦、比萨、莱登（Leyden）等地相继设立，由探险家和冒险家带回的罕见花木都保存和培植在那里。医学界不久就有了自己的药圃及药品蒸馏所。每个药剂师协会都有自己的药圃，其中之一就是1676年前后伦敦药剂师协会所设立的药圃，现时还存在于切尔西（Chelsea）。

124

中世纪植物学家——如大阿尔伯特与鲁菲纳斯——的工作，久已被人遗忘，现在还得从头来。首先撇开古代著作中的描写，而根据自己的观察对自然界作准确描写的是科达斯（Valerius Cordus, 1515—1544年）。大致就在这时候，开始出现一些“本草书”，这些本草书主要是根据第奥斯科理德的著作写成的，其中叙述了一些植物与其医学性质和烹调性质[①]。在有些书内，图画与正文颇有出入，后期出版的常常比较准确。1551至1568年威廉·特内尔(William Turner)发表了一种本草书，1597年，约翰·热拉尔(John Gerard)发表了另外一种本草书，但不那么精确。特内尔是一位早期的田野博物学家；热拉尔后来做了伯利（Burghley）勋爵的斯坦福德城新宅花园的管理人。

科尔切斯特的吉尔伯特

科尔切斯特的吉尔伯特（William Gilbert of Colchester, 1540—1603年）使用了实验的方法。他是剑桥大学圣约翰学院的研究生，皇家医学院的院长。在《磁石》一书中，他搜集了当时有关磁与电的知识，并加入他自己的观察结果。磁针似乎是在十一世纪末由中国人首先发现的[②]。此后不久，由穆斯林海员应用于航海，到十二世纪磁针便流行于欧洲了。十三世纪帕雷格伦纳斯（Peter Peregrinus）对磁针作过观察，但被人遗忘了。

吉尔伯特研究了磁石之间的吸引力并证明磁针自由悬挂时，不但象在航海罗针中那样大致指着南北，而且在英国，它的北极还略向下倾，其倾角则随纬度而不同。这种磁倾现象在1590年左右也

① R. T. Gunther, Oxford, 1934, and *Isis*, No. 65, 1935, p. 261; Agnes Arber, *Herbals*, Cambridge, 1938.

② Sarton, *History of Science*, Vol. I, 1927, p. 756.

为仪器制造者诺尔曼(Norman)所发现。吉尔伯特指出他的结果对于航海有很大重要性,并且根据他对磁针方向的实验,断定地球本身的作用必然象一个大磁石,它的两极与地理上的两极接近,但不完全重合。磁石方向或磁偏角随时间的变化,稍后(1622年)为冈特尔(Edmund Gunter)所发现,他查出在42年内改变了5度。吉尔伯特说,一个均匀磁石的磁力强度和磁场与其质量成正比例。125 这好象是第一次认识到质量,而不提重量,质量的概念很可能是这样传给刻卜勒和伽利略,并由他们传给牛顿的。

吉尔伯特还研究了有些物体如琥珀磨擦时所产生的力。他根据希腊词 ἤλεκτρον(琥珀)创立了electricity(电)这个名称。为了测量这些力的大小,他用一根轻的金属针,平衡在一点上,并增加已知物体的数目以便看出其效果。除了实验之外他还对磁与电的原因提出一些思辨性的见解。他以为磁石具有象灵魂那样的东西,而地球的灵魂即是磁力。他从希腊哲学借来以太——即非物质的影响——的观念,认为这种影响是带磁或电的物质作为"磁素"发出来的,它能包罗邻近的物体,并把它们拖向自身。他还把这个观念扩大用来解释重力,即把石头拖向地面的力。他又半神秘地把这个观念应用到太阳和行星的运行上去。他认为每个球体都有一个特殊的精神在里面,并弥漫于四周,行星的轨道及宇宙的秩序,就是由这些精神的彼此作用而决定的。他接受了地球绕自己的轴而自转的见解,这个他也用磁力来解释;但他却不相信地球围绕太阳运行。

吉尔伯特是伊丽莎白和詹姆斯一世的御医;事实上女王还奖给他以年金,使他有闲暇进行研究。这是英国王室很早就重视科学实验的一个显著例子。培根在他的《新工具》里提到了吉尔伯特的工作,认为这是他所鼓吹的实验方法的一个例子。

弗兰西斯·培根

弗兰西斯·培根(Francis Bacon,1561—1626年)是英国的国务大臣。他深感经院哲学不能增进人类对于自然的知识与支配自然的能力，且看出亚里斯多德的“最后因”于科学毫不相干，于是就着手去研究一种新的实验方法理论。为了“把人类的能力和伟大气魄的界限推到更远的地方”,他规划出一条可以更有把握地朝征服自然的方向前进的道路。他认为只要记录下一切可以得到的事实，进行了一切可能进行的观察和一切可行的实验，然后再按照他表述得还不十分完善的规则,把结果汇集起来编成表格,就可以看出现象间的关系，而且也可以差不多自然而然地找到表达这些关系的法则。

这个方法的缺点是很明显的，批评它也是很容易的。因为要 126 观察的现象太多了,要做的实验也太多了，因此，科学的进步很少是用纯粹的培根方法去完成的。在早期阶段，洞察力与想象必定先发生作用;然后根据事实形成一个初步的假说,这个心理过程就叫做归纳;然后再用数学的或逻辑的推理演绎出实际的推论,并用观察或实验加以检验。如果假说与实验的结果不相符合，我们必定要重新猜度,形成第二个假说,如此继续下去直到最后得到一个假说,不但符合于(或如我们常说的能够“解释”)最初的事实,而且符合于为了检验这个假说而进行的实验的一切结果。这个假说于是可升格到理论的地位,它可以把知识连贯起来或使之简单化,也许在许多年内都有用。一个理论很少是符合事实的唯一可能的理论。这不过是一个概然性的问题罢了。事实上，随着新知识的增加,事实本身愈来愈增多，愈来愈复杂，于是理论可能就必须加以修改，甚至由更合于后来扩大了的眼界的理论所取代。

除波义耳外,培根对于实际从事实验科学的人似乎没有影响，

或很少有什么影响。可是他在提高学术界对于当代科学问题的考虑方面,却不无功劳。世界上出现过不少的哲学,但并没有相应的事实记录,可以用来对这些哲学加以检验。所以,在培根眼中确实可靠的事实是当时迫切的需要。这是很正确的。培根自已在实验领域中,对于认识自然并没有什么显著的或成功的贡献,他的理论和科学方法在范围方面也是野心过大了,在实践方面,也是根据太不足了。但是,他是首先考虑归纳科学的哲学根据的人,对于十八世纪法国百科全书派学者有很深的影响。他凭着自觉的力量与政治家的辩才所提出的见解远远超过他的时代。经院哲学不但过时而且陈腐了,哲学思想界正在震动,期待着变化,就在这时,培根指出了一条更广泛地更正确地认识自然界的大致上正确的康庄大道。

刻卜勒

哥白尼的学说在天文学上引起了一场革命,事实上在一般科学思想上,也引起一场革命。不过哥白尼主要是数学家,对于自然知识没有增加好多新的事实。把行星运动的详细情况更精确地记录下来的第一位天文学家,要算是哥本哈根的第谷·布拉埃(Tycho Brahe,1546—1601年)。他并没有采取哥白尼的全部体系,而认为太阳围绕地球运行,而行星则围绕太阳运行。他经过几次迁徙,终于定居在布拉格,并得着约翰·刻卜勒(John Kepler,1571—1630年)参加他的工作,后来就把他的极其珍贵的资料遗留给刻卜勒。人们常认为刻卜勒的成绩在于归纳出和证明了行星运动的三个命题或"定律",这三个定律以后成了牛顿天文学的基础。如果我们只研究纳入牛顿科学中的成果,一方面就给刻卜勒的形像涂上太现代的色彩,另一方面也忽视了他的心理态度的历史渊源。在哥白尼工作后面,我们可以看见毕达哥拉斯和柏拉图

127

的影响；在刻卜勒的著作中，它们显然表现于他们的数学方法上。

刻卜勒的正式职业主要是编辑当时流行的占星历书。虽然他以讽刺的口吻提到过这个利润丰厚的职业对于天文学家的价值，可是他却是一位占星术的信徒。同时他确是一位杰出的、热心的数学家；他之所以相信哥白尼体系正是由于哥白尼体系具有更大的数学的简单性与谐和的缘故。他说："我从灵魂的最深处证明它是真实的，我以难于相信的欢乐心情去欣赏它的美。"[①] 哥白尼对太阳赞美不置，刻卜勒更是变本加厉，他把太阳看做是圣父，把恒星的天球看做是圣子，把居于其间的以太——他认为太阳的能力是通过以太推动行星在其轨道上运行的——看做是圣灵。

刻卜勒深信上帝是依照完美的数的原则创造世界的，所以根本性的数学谐和，即所谓天体的音乐，乃是行星运动的真实的可以发现的原因。这是鼓舞刻卜勒辛勤工作的真正动力。他并不是象一般人所想象的，在乏味地寻求牛顿后来加以合理解释的经验规则。他所追求的是最后因：即造物主心中的数学的和谐。

亚里斯多德认为物质的终极本质在于不能再分解的质的特征，所以如果一棵树使观察者眼中产生绿色的感觉，对观察者来说，它的实在和本质就在于绿这种特性。但在刻卜勒看来，知识必须是定量的特性或关系，所以量或数才是物的根本基础，比其他一切范畴更在先，更重要。

以刻卜勒定律的名称在科学中保留下来的三条概括的归纳是：（1）行星运行的轨道是椭圆，太阳在其一个焦点处；（2）太阳中心与行星中心间的连线在轨道上所扫过的面积与时间成正比例；（3）行星在轨道上运行一周的时间的平方与其至太阳的平均距离的立方成正比例。在这三句简单的话中，刻卜勒把他的前代 128

① Burtt，上引书47页。

及同代天文学家所得到的关于行星运动的大量知识，加以总结并系统化了。

在这三个定律中，刻卜勒尤其喜欢第二个定律。既然每个行星都为一个“常在的神圣因”,即亚里斯多德的“不动的原动者”所驱策,它们应该以匀速运行。根据事实,这个观念是非放弃不可了,但刻卜勒仍然把线段的均匀改为面积的均匀,从而“挽救了这个原则”,在他看来这不过是哥白尼学说揭示出来的许多数学关系中的三个吧了。

给予他更大欣喜的另外一个发现,是第二种关系,即距离方面的关系。 如果在包容土星轨道的天球里内接一个正六面体的话，木星的天球就恰好外切于这个六面体。如果把一个正四面体内接于木星的天球之中的话,火星的天球就恰好与这个正四面体外切。如此类推,五个正多面体和六个行星,都是这样。这个关系只是大致不错,而且新行星的发现已经摧毁了它的基础,但它给予刻卜勒的快乐比以他的姓命名的三个定律还要大些。在他看来这是天体音乐的新和声,事实上,这就是行星距离所以如此的真正因。因为在他看来,也正象在柏拉图看来一样,上帝总是在运用几何学。

回到数的神秘学说，竟然会使哥白尼和刻卜勒建立这样一个体系,它通过伽利略与牛顿,把我们直接送到十八世纪法国百科全书派和十九世纪德国唯物主义者的机械哲学那里去，这真可以算是历史的揶揄之一。

伽利略

文艺复兴以后，在人心中沸腾着的某些伟大思想,终于在伽利略(Galileo Galilei,1564—1642年)的划时代的工作中,得到实际的结果。列奥纳多在他所考虑过的无数题目中，已经预兆了现代

科学精神。哥白尼在思想世界发起了一场革命。吉尔伯特说明了实验方法怎样可以增加知识。但在伽利略身上，新精神比前人更进了一步。他在青年时代信仰亚里斯多德，成年以后就不再相信亚里斯多德的学说，而把握了新的原则；他了解在现代的研究中需要集中精力，因此，他就比较完备而有条理地研究了一些仔细选择的狭窄问题，而不象无所不能的天才列奥纳多那样把精力分散在许多科目上。哥白尼的天文学是根据数学简单性这一"先验"原则建立起来的，伽利略却用望远镜去加以实际的检验。最重要的是，他把吉尔伯特的实验方法和归纳方法与数学的演绎方法结合起来，因而发现、并建立了物理科学的真正方法。 129

伽利略真可算是第一位近代人物；我们读他的著作，本能地感觉畅快；我们知道他已经达到了至今还在应用的物理科学方法。过去，人们总是先采纳一个完备的和自圆其说的知识体系，中世纪新柏拉图主义和经院哲学都有这样的特色，现在，伽利略放弃了这种方法。事实不再是从权威的和理性的综合中推演出来的了，也不必再符合于这种权威的和理性的综合了，象在经院哲学中那样；事实甚至不再是靠这种综合来取得意义了，象在刻卜勒的头脑中那样。由观察或实验得来的每个事实及其直接的和不可避免的推论都按照本来面目被人接受，不管人们怎样想把自然界一下子收服在理性的管辖之下。许多孤立的事实的协和是慢慢显露出来的，围绕着每个事实的窄小的知识范围，零散地发生接触，也许就融合成一个较大的范围。可是，要把所有的科学的和哲学的知识融合成一个更高的、统摄一切的统一体，即使还不是绝不可能的，也须推迟到遥远的将来。中世纪经院哲学是理性的；现代科学在本质上是经验的。前者崇拜人的理性，在权威规定的界限内活动；后者接

受无情的事实，不管它是否合于理性[1]。

伽利略首先发明温度计。这是一根玻璃管，顶端有一个空气泡，开口端则浸没于水内，1609年他听人说一位荷兰人发明了一种能把远处物体放大的镜子。伽利略就根据他对光的折射的知识，立刻制成一个同样的仪器，而且很快就制出一个相当好的仪器，能将物体的直径放大三十倍。从此，新发现立刻接踵而来[2]。月球的表面，哲学家从来就认为是完全平滑而无瑕疵的，现在看出盖满了斑点，说明有崎岖的山脉和荒凉的山谷。从前所看不见的无数星星，现在也闪烁在眼前了；自古以来不可解的银河问题，现在也得到解答了。人们现在看见，木星在它的轨道上伴随有四个卫星，并有其可量度的周期；这是地球和月球象哥白尼所说的那样围绕太阳运行的模型，只不过更加复杂和可以看见而已。帕多瓦的哲学教授不愿意去看一看伽利略的望远镜，而他的比萨同事们则在大公爵面前竭力想用逻辑的论据证明，"他仿佛是靠了巫术的符咒似的，把新行星从天空咒了出来"。

靠了望远镜的帮助，伽利略用人人可以复按的事实证明了天文学的新学说，而在那时以前天文学的学说是仅仅建立在先验的数学简单性的根据上的。差不多和伽利略同时，英国数学家，在把代数学改进为现代形式方面有很大贡献的哈里奥特（Thomas Harriot），也用一具望远镜观察了月球与木星的卫星，不过他生前没有把他的发现刊布出来[3]。

伽利略的主要的和最具独创性的工作是为动力学奠定了基

---

① A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927.

② Galileo Galilei, *The Sidereal Messenger*, Venice, 1610, quoted in *Readings in the Literature of Science*, Cambridge, 1924.

③ *Dictionary of National Biography*.

础[①]。这时，静力学方面已经有一些进步，布鲁日的史特芬即史特维纳斯(1586年)尤其有贡献，他在斜面和力的合成，以及流体静力学的水压方面都做了一些工作，可是人们关于运动的观念，仍然是未曾经受训练的观察和亚里斯多德理论拼凑而成的大杂烩。物体被认为有所谓本质的重或轻，并且用和自身的轻重成比例的速度下降或上升，因为它们以不同的力量，“寻找它们天然的位置”。1590年左右，史特芬与德・格鲁特(de Groot) 在德尔夫特 (Delft) 证明轻重两物同时坠落，则同时到达地面[②]。伽利略也许重做了这个实验(好象不是在比萨斜塔上)，因为他早说过炮弹并不比枪弹落得更快[③]。

哥白尼与刻卜勒证明地球与其他行星的运动可以用数学方式表达。伽利略觉得地球的各部分在“局部运动”中也是按数学方式运动的。于是他想要发现的不是物体**为什么**降落，而是**怎样**降落，即是依照怎样的数学关系而降落；这是科学方法上的一个大发展。

131

物体以不断增加的速度降落。这种增加的定律是怎样的？伽利略的第一个假设，就本身言是很合理的。这个假设认为速度与降落的距离成比例。但这个假设含有一个矛盾[④]，于是他试用另一个假设，即速度与降落的时间成比例。这个假设经证明没有什么

---

① E. N. da C. Andrade, *Science in the Seventeenth Century*, 1938; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung*, 1883, T. J. McCormack, London, 1902.

② Whewell, 上引书 I 卷46页; G. Sarton, *Isis*, No. 61, 1934, p. 244.

③ E. N. da C. Andrade, quoting Wohlwill, *Galilei* (vol. I, Hamburg, 1909); Gerland, *Geschichte der Physik*, 1913; *Isis*, 1935, p. 164; *Nature* 4Jan. 1936.

④ 伽利略的证明是不能令人满意的，但如布罗德 (Broad)所指出的，从静止开始，物体不能有速度，除非已经落了一段距离，而且不能降落一段距离，除非已经获得一点速度。

困难，于是伽利略演绎出它的结论，并和实验的结果比较。

物体自由降落时速度太大，用当时已有的仪器不易量度，更难得到精确的结果，所以须将这个速度减少到便利的限度以内。伽利略起先认为物体沿斜面降落所得到的速度，与垂直降落同一距离所得到的速度一样。他于是用斜面实验，并发现他量度的结果与根据下列假设及其数学推论计算出的结果相符。这个假设就是：速度与降落的时间成比例；这个假设的数学的推论是：物体降落经过的空间按时间的平方而增加。他还再度发现另外一个事实：摆的振荡周期与摆幅无关(小摆动时)；可见在等时间内重力以等量增加摆锤的速度。

伽利略还发现：如果摩擦力小到可以忽略时，球滚下一个斜面之后，可以滚上另一个斜面直到和出发点一样高的地方，而与斜面的倾斜度无关。如果第二面是水平的，这个球将以恒速在这面上不断地向前跑去。

除了希腊的原子论者与少数的现代人如列奥纳多和邦内德提(Benedetti, 1585年)之外，人们一向假定每个运动都须有继续不断的力去维持它。行星必须有亚里斯多德的"不动的原动者"或刻卜勒的太阳经过以太的作用，来维持它们的运行。但经过伽利略的研究，人们才明白：需要外力的不是运动，而是运动的产生或停止或运动方向的改变。物质既然具有惯性，行星系一旦开始运动，就不需要力去维持行星的运动；虽然必须找到一个原因去解释它们为什么不断地离开直线路径，而在围绕太阳的轨道上运行。在此以前就是正确地提出这个问题也不可能，但现在解决的途径已打开了，而解决的人就在眼前，因为牛顿就出生在1642年，即伽利略死去的那一年。

伽利略在动力学上还有另外一个重要的发现。在他以前抛射

体的路径，已经是一个猜测纷纭的问题。伽利略看出抛射体的运动可以分析为两个成份：一个在水平向，速度恒定不变，一个在垂直向，遵循落体的定律。这两个分量综合之后，即得路径为抛物线。

伽利略的哲学思想，一方面接近刻卜勒，另一方面接近牛顿。和刻卜勒一样，他要寻找自然现象间的数学关系，但他所找的不是神秘的原因，而是要了解支配自然变化的永恒定律，不管“自然的理由是人类所能了解或不能了解的”[①]。

由此可见伽利略已经远远离开了经院派以人为中心的哲学，在这哲学里，整个自然界都是为人而创造的。但是，在伽利略看来，上帝把这种严格的数学必然性赋予自然，而后通过自然，创造“人类的理解力，使人类的理解力在付出了极大的努力之后，可以探寻出一点自然的秘密”。

欧几里得与其前人把几何学归到数学的领域。希帕克、哥白尼与刻卜勒表明天文学可以归结为几何学。伽利略也同样地对待地上的动力学，把它变为数学的一个部门。要从构成一种新科学的题材的观察到的一团混乱的现象和一团混乱的模糊的观念中，创造出一种新科学，第一步总是要抓着可给以确切界说的几个概念，这种界说至少应在一个时期内是有效的；如果可能的话，这种界说应使我们可以对这些概念给予数学上的量的处理。为了要把他的落体的加速度问题变成可研究的问题，伽利略首先将古来关于距离与时间的概念给予确切的数学形式。亚里斯多德与经院哲学家的主要兴趣在于最后因，他们认为地上的运动和天文学上的天体运动并不相似，而是形而上学的一个分支。于是他们就借

① Burtt，上引书64页。

助作用、动因、目的、自然位置等含糊观念，从本质的角度去分析运动。关于运动本身，他们很少说到或想到，而只是举出了运动的几种区别，如自然的运动与剧烈的运动的区别，直线运动与圆运动的区别等。在伽利略看来，这些都是无用的，他所要研究的不是运动为什么发生而是怎样发生。定性的方法使得空间与时间在亚里斯多德思想中成为某些不重要的范畴。伽利略使得时间和空间在物理科学中具有了本原而根本的性质，自此以后时间和空间就始终在物理科学中具有这种性质。他和别的人还认识到，在惯性里除了重量之外，还有某一个量。但质量的确切定义是牛顿首先提出的，至于能量的概念，则到十九世纪中叶，才形成并得到定义。

虽然如此，伽利略毕竟在数学的动力学方面迈出了最初的、也是最难的一步，这就是从经院哲学在分析变化和运动时所采用的模糊的目的论范畴，跳到关于时间和空间的确定的数学观念。贝尔特教授认为我们现今的许多哲学困难都是由这一步骤带来的。我们或许可以回答说，这一步骤揭露并澄清了亚里斯多德物理学所掩盖起来的许多困难。总之，一件事是确定的：如果没有伽利略的新眼光，动力科学是不会有那样的发展的。如果他的某些继起者把这门学科和形而上学的实在问题的关系估计得过高，那并不是伽利略的过错。事实上对于只有根据轻率的推测才能解答或者只能由哲学体系演绎出来的问题，他宁愿承认无知，耐心等待。他承认他对于力的本性，重力的原因，宇宙的起源，毫无所知。他认为，与其夸大胡说，不如"宣布那个聪明的、智巧的、谦逊的警句：'我不知道'"。

也许在物理学的其他部门的哲理问题上，伽利略也和前人有同样重要的不同。刻卜勒承认物体的第一性的质（或不可分离的性质）与第二性的质（或不甚实在与不甚根本的性质）的差别。伽利

略更进一步，认为第二性的质不过是感官上的主观效应，和不可与物体分离的第一性的质迥然不同。在这里，他与古代原子论者是一致的，这是因为原子论者的哲学在不久以前又复活了。伽利略说：

> 当我设想一件物质或一个有形体的物质时，我立刻觉得我必须设想按它的本性，它是有界限、有形状的，和旁的东西比较起来是大还是小，处在什么地方和什么时间，在运动还是静止，与其他物体接触还是分离，是单个、少数还是多数，总之，无论怎样，我不能想象一种物体不具有这些条件。但关于白或红、苦或甜，有声或无声，香或臭，我却不觉得我的心被迫承认这些情况是与物体一定有关系的；如果感官不传达，也许推理与想象始终不会达到这些。所以我想物体方面的这些味、臭、色等，好象真的存在在物体中，其实只不过是名称而已，仅仅存在于有感觉的肉体中；因此，如果把动物拿走，一切这样的质也就消除了，或消灭了。①

134

伽利略就按着这一思路重新发现了德谟克利特用原子和虚空言简意赅地表述出来的那条原理②。伽利略还接受了关于物质的原子说，并且相当详细地讨论了原子在数目、重量、形状和速度方面的差别，怎样造成味道、气味或声音方面的差别。

在这里，伽利略也离开了他的同代人心目中的自然界的画面。在普通人看来，色、声、味、臭、热、冷等特性是非常实在的，在伽利略看来，这些特性只不过是观察者心目中的感觉而已，是原子的排列或运动引起的，而原子的排列或运动本身又服从于不变的数学上的必然性。至少在他看来，原子尽管是大自然的奴隶，却是实在的，而第二性的质只不过是感官的幻影而已。一世纪以后，贝克莱主教又提出：归根结蒂，第一性的质同样也只不过是建立在感官

---

① Burtt, *loc. cit.* p. 75.

② 参看上文，p. 23.

知觉基础上的心理概念而已。

伽利略对这些问题的处理方法受到人们的责备，因此，有些二元论的和唯物主义的哲学十分肯定地是由这里产生出来的。这样做的结果也许就和法国百科全书派陷入同样的错误中：把一门科学同整个科学的关系，把整个科学同形而上学的实在问题的关系，弄错了。不过，我们将在本书后面的几章中再对这些问题作比较详细的论述。

从笛卡尔到波义耳

和伽利略同时代但比较年轻的笛卡尔（René Descartes，1596—1650年），为现代批判哲学奠定了基础，并发明了一些在物理科学上有用的新的数学方法。他生于法国都兰城（Touraine）的半贵族的家庭里，并在拉弗勒希（La Flèche）从耶稣会教士学习，但他的主要工作却完成于旅居荷兰的二十年内。他在服务于克里斯蒂娜（Christina）女王时死于斯德哥尔摩。

笛卡尔证明在公认的哲学观念下面还有许多没有得到证实的假定。他抛弃了根据希腊哲学和教父理论建立起来的、在当时仍然有力的中世纪积累下来的思想，而企图仅仅根据人的意识与经验，建立一种新的哲学，这个哲学的范围从对于上帝的直接的心理领悟一直到物质世界的观察与实验。可是经院哲学的痕迹仍然留在他的意识里①。

135

在数学上笛卡尔大大前进一步，把代数的方法应用于几何学（不谋而合的还有费马〔Fermat〕），从而发展了在印度、希腊与阿拉伯都可以找到的、并为现代人，特别是维埃特（Viète）加以推进

① Etienne Gilson, *Formation du System Cartésien*, Paris, 1930.

的一些见解。在此以前每一几何学的问题都须应用新的技巧去解决，但笛卡尔提出了一个方法，打破了孤立处理的局面。座标几何学（即解析几何学）的基本观念是很容易说明的。从一定点（或原点）O 作互相正交的两直线 OX 与 OY。这两条线可用为轴线，它们所定的平面上任何一点 P 的位置，可以其距离一轴的长度 OM 或 x 和距离另一轴的长度 PM 或 y 而决定之。x 与 y 两长度称为 P 点的座标，x 与 y 之间的各种关系相当于图中平面上的各种曲线。例如设 y 与 x 成正比而增加，换言之即 y 等于 x 乘一常数，在图上合于这关系之点便是象 OP 那样的一条直线。又如设 y 等于 x^2 乘一常数，我们便得到一条抛物线……。这样的方程式可以用代数学处理，而其结果则可用几何学解释。有了这个方法，许多物理学的问题，从前不能或不易解决的，现在都可以解决了。牛顿就研究过笛卡尔的几何学著作，并使用了他的方法。

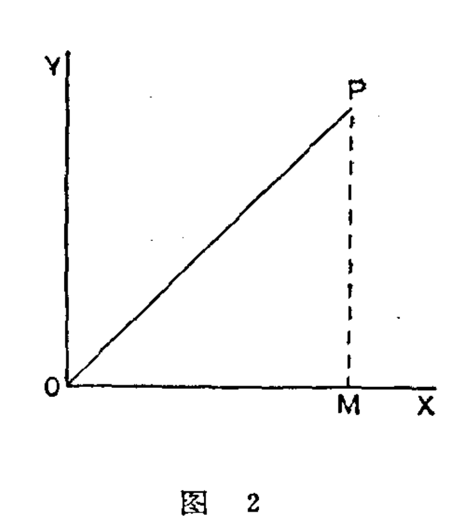


图 2

笛卡尔指出了力所做的功（即现代人所说的能量）的重要性。他认为物理学可以归结为机械学，他甚至把人体看做与机器是相类似的。他接受了哈维关于血液在动静脉里循环的理论，并在当时的争论中为这个理论辩护，但他不相信血液是在心脏的收缩的推动下循环的。他和中世纪人及费内尔一样，认为人体机器所以能继续作功，是靠了自然过程在心脏里所产生的热。所以在他看

来，灵魂（有理性的灵魂）与它所居住而且控制的肉体（地上的机器）完全不同。他赞成盖伦的学说，以为血在脑中产生“一种极微妙的气或风”，叫做“动物元气”。但他和范·赫耳蒙特一样，不把“动物元气”看做灵魂，虽然有了这种元气，脑才能接受灵魂的印象和外界物体的印象，然后这种元气就由脑通过神经，而达于肌肉，使四肢活动。

136

这样，笛卡尔就第一个提出了彻底的二元论，这种把灵魂与肉体，心与物鲜明地区别开来的学说，后来成为极普遍的信仰和极重要的哲学。他以前的人们和他以后的许多人还认为灵魂与火或气具有同样的性质，而物与心的分别与其说是种类上的分别，不如说是程度上的分别。

笛卡尔企图把地上的力学的已知原则应用于天体现象，在这里，和他的主要的哲学观点相反，他的处理方法，似乎建立在希腊人和经院派的矛盾观上。他把物质世界和精神世界对立起来，精神是属于人的，不相连续的；因此，物质必定是不属于人的，连续的，而其本质则必定是广延。物质宇宙必然是一个致密无间的充实体。在这样一个世界中只有物物相触才能产生运动，因而运动只能发生于闭合路程之中；不存在物体可以通过的真空。由此，笛卡尔建立了有名的关于一种本原物质，或看不见但充满空间的以太的漩涡学说。石头向地球降落，卫星被行星吸引，而地球与行星又带着它们周围的附属的漩涡，沿着更大的漩涡围绕太阳旋转，正如一根浮在水面的麦草，为水的涡流所捉住，被带向运动的中心一样。

后来牛顿用数学证明笛卡尔的漩涡的性质与观测不合。例如漩涡各部分的周期必定与离中心的距离形成二乘比。如果带有自己的漩涡的行星，又被带着在太阳的漩涡中运行，这种关系也必

定有效。但这种关系与刻卜勒第三定律不相符合。前面讲过，这个定律说：周期的平方与平均距离的立方成正比例。虽然如此，漩涡说在牛顿的研究成果发表以前（甚至以后），却盛行一时。这是一次想要把天体的大问题归结为力学的勇敢尝试，因此它才载入科学思想史。它把物质宇宙看做是一个可以用数学方式去解释的巨大机器，虽然牛顿后来证明，这种数学解释是不精确的。 137

在当代人看来，笛卡尔的由接触而生运动的漩涡，从机械观点来看，比伽利略所想象、后来由牛顿加以系统解释的通过超距作用而产生加速度的力，容易了解得多，因为这两人都没有对这些力的成因或其作用的方式有所说明。

笛卡尔的机器，与当时尚在盛行的柏拉图、亚里斯多德和经院哲学家的见解根本不同。照他们的见解，上帝创造世界，是为了通过高出万物的人类，使整个过程重新回到上帝那里去。在笛卡尔体系中，上帝在一开头的时候把运动赋予宇宙，以后即听其自然进行，虽然也得照了上帝的旨意。他认为这个宇宙是物质的而非精神的，无目的的而非有目的的。上帝不再是最高的善，而被贬到第一因的地位上去了。

笛卡尔和伽利略一样，认为物体的第一性的质是数学的实在，其中最重要的是广延性，第二性的质只是第一性的质经过人类感官的翻译。但思想与物质是同样实在的——"我思故我在"（*cogito ergo sum*）。因此笛卡尔达到一种明确的二元论。这从他的生理学中也可以看出。一方面有肉体的世界，它的本质是广延，另一方面则有内在的思想王国：广延与思想相对立。在笛卡尔看来，物是真正死的东西，除了在开始时从上帝得到的运动之外，物不能再有其他活动。有些人自称为唯物主义者，分析起来实在是泛神论者，笛卡尔在他的二元论的一个方面，才是真正哲学上的唯物主义者，

因为在他的观念中，物的质点绝对不带一点生命。

笛卡尔的二元论提出了两个在表面上没有关系的东西——心与物——的相互关系问题。这个无广延性、非物质的心怎样能够知道有广延性的物质世界，且使其发生变化呢？物质的物怎么能引起非物质的感觉呢？笛卡尔和他的门徒的答案实际上是说上帝使然；在信仰二元论的人看来这个答案实在大有道理在。

牛津的亚里斯多德派学说受到格兰维尔(Joseph Glanvill) 的批判。他拥护培根和笛卡尔的见解。笛卡尔的哲学受到很大欢迎，尤其是在大陆上。但他的体系受到霍布斯 (Thomas Hobbes, 1588—1679年)的批评。霍布斯在见到伽利略以后，就把动力科学发展成为一种机械哲学。他不了解数理力学的确切方法，以为它可应用于一切的存在。他抛弃笛卡尔的二元论；脑是思想的器官，运动中的物质是唯一的实在。不是由于忽略了困难便是由于没有看到困难，霍布斯把感觉、思想与意识都看做是原子在脑中活动所产生的幻象。

138

霍布斯是现代第一个伟大的机械哲学的代表。他受到许多愚昧的诽谤和有见识的批评。剑桥的柏拉图派指出把广延性及其各种形式当做物体的唯一实在性质的理论，不能解释生命与思想，他们企图通过把空间神化来调和宗教与机械哲学。马勒伯朗士 (Malebranche) 更进了一步。他把无限空间与神视为一体，用无限空间来代替亚里斯多德的纯粹形式或绝对现实性。斯宾诺莎 (Spinoza) 持有一种无限实体的理论，一切有限的存在都是无限实体的形式与限度[1]。于是神成为无矛盾的宇宙的内在因，而笛卡尔的心

[1] H. A. Wolfson, *The Philosophy of Spinoza*, Harvard, 1934; *Isis*, No. 64, 1935, p.543.

物二元论，从"永恒方面"来看，也就归结为较高的统一了。哲学家们就这样请出了上帝，而逃避了他们的困难。虽然如此，霍布斯对于科学思想仍然产生了影响。

迪格比 (Kenelm Digby) 爵士对亚里斯多德的本质特性加以嘲笑，他和伽利略一样，认为一切现象都应该用"局部运动"中的质点去解释。牛顿的老师巴罗 (Isaac Barrow，1630—1677年)还对伽利略的数理物理学的含义加以阐释。科学的目的在于研究可感觉的领域，特别是在它表现出量的连续性的时候，而数学则是量度的技术。因此物理学，作为一种科学看，完全是数学性的。数学的最好代表是几何学。重量、力与时间等自伽利略以来变得很重要的量，很难和物体是有广延性的东西的概念联系起来，如果用运动去界说并测量时间，我们就有陷入一种逻辑上的循环论证的危险，因为运动的变率包含有时间的概念[1]。可是巴罗说空间与时间是绝对的、无限的和永恒的，因为上帝是无所不在与永久长存的。空间连续延展而无限度，时间永远均匀地流动，而与可感觉的运动无关。这是对于牛顿所持有的绝对时空观念的最早的明白陈述。巴罗所表达的时间和空间是和人们的知觉与认识无关的，除了与神 139 有关之外，只靠自己的权利而存在。正如伯特教授所说："自然从一个互相具有质的与目的的关系的物质的世界，一变而为在时空中作机械运动的物体的世界了"[2]。虽然如此，巴罗、牛顿与他们的门徒并没有从他们的新的力学科学演绎出一种机械的反宗教的哲学。重新提出伊壁鸠鲁的原子理论的伽桑狄 (Gassendi)也是一位职业的天主教教士。而且一位谦逊、和易、英国式的物理学家、

---

[1] G.Windred, "The History of Mathematical Time", *Isis*, April 1933, No.55, Vol.XIX(1), p.121.

[2] Burtt，上引书154页。

化学家和哲学家波义耳还提出一个有益的警告，提醒人们注意世间一切并不是都可以用简单的数学方式来解释。

作为一位科学家，他继承了吉尔伯特与哈维的实验主义的传统，并接受了“我们的维鲁拉姆(Verulam)大男爵”① 的实验方法。他寻找的是不必追求最后因——不管这些原因是经院哲学的还是数理力学的——直接就可以知觉到的各种性质之间的关系。解释一件事实，只不过是把这件事实从人们了解得比较清楚的另一件事推导出来而已。他尤其想这样地去研究通常事物的化学，而不联系当时流行的半神秘的化学元素理论。他认识到伽桑狄不久以前重新提出的原子理论的重要性，企图把这个理论和笛卡尔的空间要素调和起来，并且在他的化学思想与物理学中，利用这个理论来解释热的现象。

波义耳接受了(实际他也必须接受)认为“第二性的质”只是感觉的幻象的见解，但他正确地指出，毕竟“在这世界上，事实上还有某些有感觉、有理性的、我们叫做人的生物”。既然人带了他的感觉，构成宇宙的一部分，所以第二性的质与第一性的质是同样实在的。这里，波义耳从相反的方面，接触到贝克莱所得到的结果，而且他所使用的论据现在好象仍属有效。机械世界与思想世界都是哲学要对付的整个世界的两部分。为了要把问题放在人类理解力的范围内也许必须把这两个世界看做是完全分离的；但是这是由于我们需要从不同的方面对问题挨次加以处理，从而把问题简化。如果有一个比我们的心灵更高的心灵，也许就可以从整体上去凝视世界。

波义耳用宗教的术语来表达他的哲学。人的理性灵魂具有着

① 指弗兰西斯·培根，因为他的男爵封地是维鲁拉姆。——译注

神圣造物者的形象，是“一个比整个形体世界更高贵、更有价值的存在”。上帝不但在开初创造了世界，而且要使世界存在与进展还不断地需要他的“普遍参与”。这是基督教的“内在论”同物质有关的一面，也是古印度与阿拉伯关于上帝不断创造万物的观念的部分复活。直接因是机械的，但最后因则非机械的。 140

作为一位物理学家，波义耳在胡克的帮助下，改进了1654年冯·盖里克(von Guericke)所发明的空气唧筒，并利用这个抽气机来研究“空气的弹力与重量”。他发现空气是有重量的物质，并证明一定量空气所占的体积与其所受的压力成反比例，这关系也不谋而合地为马里奥特(Mariotte)所发现。波义耳观察到空气压力对于水的沸点的影响；他搜集了许多有关电与磁的事实；他用密闭管改良了伽利略的温度计，并记录了健康人体不变的温度；他认识到热是“活跃的”分子活动的结果。作为一位化学家，他把混合物与化合物区别开来；他制出了磷，并且用器皿从水面上收集了氢气，可是他却说那是“重新制成的空气”；他从木材蒸馏的产物里得到丙酮与甲醇；他研究了结晶体的形态，据此研究化学结构。

但波义耳对于当代一般观点的最大贡献在于他抛弃了经院哲学中残存的柏拉图和亚里斯多德的“理式”，抛弃了四“元素”的旧观念，并且抛弃了另一化学假说：物质的本质应该到盐、硫与汞等“原质”或“要素”中去寻找。他对这些术语赋予比较现代的意义，说明这些东西都不是真正的元素。

他的见解载于1661至1679年间发表的一部三人对话集中，书名为《怀疑的化学家：或化学与物理学上的疑点与矛盾，并及世俗炼金家用以证明盐、硫、汞为物的真正原质的实验》。波义耳的代言人用如下的话说明他的观点：

尽管我在逍遥派哲学家的书中遇到精微的推理，在化学家的实验室中看

到美妙的实验，我的拙劣的天性总觉得，如果两方都拿不出比通常拿出的更为有力的论据来证明他们的说法的真实性的话，那么，人们对于混合物中的物质成分，即一些人要我们叫元素，另一些人要我们叫要素的东西，保留一些怀疑，是完全合理的。

141 波义耳指出，人们以为火可以把物体分解为元素，其实在不同的温度下所产生的效果是很不同的，常常产生一些显然也很复杂的新物体。黄金是不怕火的，绝不会产生盐、硫或汞，但可以和其他金属一起制成合金或溶解于王水，而且仍可恢复原形。这说明金的"颗粒"经过各种结合之后仍然不变，而且说明并没有出现亚里斯多德的元素或炼金家的原质。他于是提出一个谨慎的命题："也许不妨姑且承认：我们可以把凝结物所提供或组成凝结物的那些互相截然有别的物质，叫做这些凝结物的元素或原质，而不致造成多大的不便。"这样，波义耳就抛弃了以前的一切见解而给元素下了一个朴实的定义，不管在他以后化学的面貌经过了许多革命性的改变，这个定义仍然适用。波义耳自己没有在实验中运用他的见解，但别人却无意识地运用了这些见解，一个世纪以后，这些见解就为拉瓦锡所采纳，成为现代化学的基础。

波义耳拒绝了贵族的爵位和伊顿(Eton)学校校长的荣誉。他的才能在他的爱尔兰墓志上受到表彰。据说在那上面他被誉为"化学的父亲和科克(Cork)伯爵的叔父"。

帕斯卡尔与气压计

在结束这个时期的数理科学的叙述以前，我们必须短简地谈谈以神学家出名的帕斯卡尔(Blaise Pascal，1623—1662年)。他是概率的数学理论的创始人，这种研究从关于赌博机遇的讨论开始，现在对科学、哲学以及社会统计的问题都证明有很大重要

性。事实上，一切经验知识的心智基础都可以说是概率问题，都可以用赌博的术语去表达。

帕斯卡尔还对液体的平衡进行了实验。比克曼(Beekman)和巴利安尼(Balliani)在1615年和1630年先后都注意到抽水唧筒有压缩空气的作用。伽利略说，有一位工人告诉他，唧筒打水的高度不能超过"18吋"(可能约27呎)，1640年左右，伯提(Berti 即 Alberti)在罗马也进行了这些实验。这就促使托里拆利在1643年制造出一个水银气压计，果然不出他的所料，密度很大的水银柱的高度不超过30吋[①]。后来，在帕斯卡尔的指导下，一具气压计被人带上多姆山(Puy de Dôme)上。仪器愈向上搬，大气压力就愈减少，水银柱也愈降低。由此可见水银柱不下落是因为有空气压 142 力支持，而不象亚里斯多德派所说的那样，是由于自然"厌恶真空"。

妖术

妖术的信仰[②]和巫术的实施当然在史前期就有了，事实上，早期宗教和自然科学也许就是从妖术和巫术所形成的观念中脱胎出来的。但是在教会最初征服世界以后，丰产崇拜的巫术和其他形式的妖术，便被有知识的人看做是异教的遗迹，不再为人所畏惧了。圣·博尼费斯(Saint Boniface，680—755年)把对于妖术的信仰归入魔鬼的诱惑之列，查理大帝的法律则规定，如有以妖术罪名

---

① C. de Waard, Thouars, 1936; review by G.Sarton, *Isis*, No.71, 1936, p. 212.

② See W.T.Lecky, *History of Rationalism*; Margaret Alice Murray, *The Witch Cult in Western Europe*, Oxford, 1921; G.L.Kittredge, *Witchcraft in Old and New England*, Cambridge, Mass., 1929; C.L'Estrange Ewen, *Indictments for Witchcraft*, 1559—1736, London, 1929; Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, 4vols. (others to follow), New York to 1934; *Isis*, No.66, 1935, p.471.

致人于死者，其罪等于谋杀。教会对此也取宽大态度——明知不对而招唤恶魔，不是异端，只是罪恶。

但是到中世纪后期，恶魔便声名大著。丰产崇拜的巫术，由于摩尼教异端的关系而恢复起来，到后来，魔鬼竟成为被压迫者崇拜的对象——一位被剥夺了王位继承权的魔王。圣·阿奎那运用了他巧妙的机智为教会过去对于妖术的态度巧加辩解；他说，虽然相信魔鬼能够制造天然的雷雨是异端，但是如果以为魔鬼在上帝的许可下可以制造一点人工的雷雨，那是与天主教的信仰没有抵触的。1484年，教皇英诺森八世(Pope Innocent VIII)代表教会对群众认为可以与恶魔和鬼物交通的信仰，以及群众对于妖人和女巫的魔力的信仰，给予正式制裁。于是这样有罪的人都变成了异端分子，正统派也就获得了一个可怕的新武器：凡是异端分子都可宣布为妖人，而激起群众对他的愤怒。有些牺牲者实际是摩尼教或其他原始宗教的正当信徒，因举行仪式而遭受火刑，还有许多则是为人所诬陷的。

宗教改革的时候，新教徒把这些观念接受下来。他们可以引用圣经上的诰诫：“行邪术的女人，不可容她存活”。虽然古代的教会法典只是对妖术的真实性表示怀疑，他们也用不着去巧加辩解了。新教徒与罗马教徒在迫害女巫方面，互相竞赛。在大陆上，招认与告发都是依照法律按正规途径用酷刑逼出来的，差不多所有的被告都招认了。在英国只有特殊法庭才有权使用酷刑，民事法庭无此权，被告者大半到死不承认他们有罪。据估计二百年内整个欧洲死于此难的人为数在七十五万以上。被告的人要想逃脱是很困难的。如果自认有罪，他们立刻就被活活焚死；如果不招认，他们便受到酷刑，直到招认为止。

143

十五世纪出版的宗教审判官的教本《奸人的惩罚》中，有关于

审判女巫的方法的记载①。那里所记载的野蛮的和不守信义的法律程序简直令人不能置信。不拘什么方式，只要能得到供状，都是法律所允许的。在施酷刑前后，审判官应该答应保全被告的生命但不告诉她要把她下狱。这种诺言应该暂时有效，但以后还是应该把她烧死。在别的场合下审判官应该保证慈悲为怀，"但要有这样的心理保留：他的慈悲是对自己或对国家而言的"。

很少人敢冒惨死的危险去对这种疯狂的迫害提出公开的抗议。这样做的第一人也许是阿格里帕(Cornelius Agrippa，1486—1535年)医生。第二人可能是韦尔(John Weyer)。他是克勒夫斯的威廉公爵(Duke William of Cleves)的侍医。靠了公爵的保护，他才敢这样做。1563年，韦尔出版了一本书，说明所谓妖术通常是由于魔鬼们造成的幻觉而产生的，因为魔鬼们总是利用女人的弱点来制造他们所喜欢的迷信的残酷行为和无辜的流血②。一位住在肯特(Kent)郡的绅士斯科特(Reginald Scot)在《巫术的真相》(1584)一书里，采取了现代的常识性的看法，认为整个这件事是愚昧、幻觉、欺诈与诬告的大杂烩。斯科特的书几次翻印，在某一个时间内"对于地方官与僧侣有很大影响"③。一位耶稣会教士斯皮(Spee)神父在不到两年之中陪伴了大约二百位牺牲者到维尔茨堡(Würzburg)的火刑场去④。他对这个经验惊骇不置。他说他相信这些人都是无罪的。他们的招认千篇一律，因为他们宁肯早死，不愿再受酷刑。1631年他发表了一本隐名的书，书中说："如果对

① *Malleus Maleficarum*, translated into English by Montague Summers, London, 1928; review in the *Nation and Athenoeum*, November 24th, 1928.

② E. T. Withington, "Dr John Weyer and the Witch Mania", *Studies in the History and Method of Science* Oxford, 1917.

③ Art. "Scot", in *Dictionary of National Biography*.

④ Withington, 上引书; C.L'Estrange Ewen, *Witch Hunting*, London, 1929,

144 所有教会的僧侣、博士和主教施以他们所用的酷刑的话，可以使他们个个都招认他们施行过巫术。”

但是这些应当名垂千古的勇士们，并不能制止蔓延到社会各阶级的疯狂的浪潮。詹姆斯一世写了一本关于妖术的书，对韦耶尔与斯科特加以谴责；连大医生如哈维爵士与布朗爵士(Sir Thomas Browne)也参与对女巫进行检查。酷刑与烈火的狂欢仍旧流行整个欧洲，一直至十七世纪之末或更后。这件事是现今的集权主义时代以前人类历史上最黑暗、最可耻的一页。

妖术信仰的衰退与它的兴起一样缺乏明显的理由。文明世界在停止焚烧女巫以前，已渐渐了解不能再相信有妖人的存在了。这并不是由于世人变得更宽大、更人道了，而是由于世人更怀疑和不畏惧女巫的力量了。事实上，这个世界正在准备迎接十八世纪的唯理论哲学和冷静的唯智论。至少在这个问题上，唯理论哲学和唯智论是有一件功劳值得大书特书的。很明白，这种态度的改变主要是由于科学的进步。科学已经慢慢地确定了人类支配自然的界限并揭示了人类支配自然的方法。这个阶段是后来才达到的。本章所述的重要时期，则始终由于对妖术的非理性的信仰，而暗然无光。即使在三百年后的今天，这类信仰还潜藏在表面之下，随时可以在各阶级的无知无识的人们中间复活。

数学

当代对巫术和科学混淆不分的情况，很可以在约翰·迪伊(John Dee，1527—1608年)身上看到。他把大部分时间都消耗在占星术、炼金术与招魂术上面，但是同时他却又是一位极合格的数学家，哥白尼学说的最早的支持者。他在比林斯利(Billingsley)于1570年所发表的欧几里得著作的英语译本上写了一篇有学术意义

的序言。在1582年教皇格雷哥里十三世把有误差的历法改正了十天的时候，伊丽莎白女王政府聘请约翰·迪伊就实施这项改革的方法提出报告。只是由于英国教会主教们的反对，英国实施这项改革的时间才推迟了170年。约翰·迪伊在1547年从低地国家带回了夫里希斯（Frisius）所制造的天文学家用的十字规和刻度环，以及麦卡托（Mercator）所制的两个地球模型。麦卡托因为制成互成直交的经纬线的地球平面投影图而著名于世。史特维纳斯所发明的十进分数法也促进了应用数学的发展。

145 在这一时期里航海术得到有效的改进。前面讲过（100页）航海术开始于葡萄牙王子亨利，到了有名的霍金斯(Hawkins)、弗罗比希(Frobisher)、德雷克(Drake)和腊勒(Ralegh)的时候就告一段落。荷兰人在埃里克曾(Erikszen)与洪特曼(Hontman)等人的领导下，于十六世纪末开始探险，很快就在东西印度群岛建立了殖民地。1601年荷兰的东印度公司获得特许开发权，稍后英国也成立了类似的公司。

在新旧时期交接之际，有一位孤零零的人物霍罗克斯(Jeremiah Horrocks, 1617—1641年)值得一提。他是兰开夏郡(Lancashire)贫苦教区的一个教士。他追随刻卜勒的研究成果之后，认为月球的轨道是椭圆（地球在其一个焦点上），并且首先预测并观测了金星过日面的现象。这就使他能够改正金星轨道上的误差并估算出它的直径。五十年后，牛顿承认他从霍罗克斯那里受益不浅。

科学的起源

在本章内我们终于看到近代科学的真正起源。在文艺复兴时，自然科学还是哲学的一个分支；但在我们刚才讲过的时期中，它已经找到了自己的观察与实验的方法，在可以应用这些方法的

地方还得到数学分析的帮助。哥白尼与刻卜勒虽然仍在数学的和谐中寻找最后因，并且在牛顿的时代以后很久，这个思路还是存在着，往往以为在每个现象可以用数学方式从量上加以表示以后，这个现象就算既得到了科学上的解释，也得到了哲学上的解释了。可是这个倾向对于实验科学家并没有什么妨碍。他们丢掉了理性的全面的综合这条镀金锁链（不管它是亚里斯多德的还是柏拉图的），因而可以自由而谦卑地接受事实，即使这些事实不能嵌合到一个普遍的知识体系里去。但事实也开始在这里或那里凑合起来，如七巧版的零块一样，使得图案的某些部分赫然出现。在下一时期内，这个动向在牛顿关于重力定律的表述中表现出来，那是科学上的第一次大综合，但在十八世纪法国百科全书派的夸大的机械哲学中，这个动向也许就摆动得太远了。

第四章　牛顿时代

1660年的科学状况——科学院——牛顿与引力——质量与重量——数学方面的改进——物理光学与光的理论——化学——生物学——牛顿与哲学——牛顿在伦敦

1660年的科学状况

我们现在来到现代科学早期发展的最重要时期。因为靠了牛顿的卓越成就，伽利略和刻卜勒的研究成果，已经和牛顿自己的研究成果融合在一起，成为物理学上首次的大综合。前几章所叙述的改变给欧洲带来的科学与哲学的状况，可以大概描述如下。

经院哲学的无所不包的知识大厦，虽然在唯理论的训练方面仍然有用，但早已不够用了。由于邓斯·司各脱与奥卡姆把唯名论复活过来，由于新柏拉图运动兴起，构成哥白尼和刻卜勒的工作的哲学基础，最后由于伽利略、吉尔伯特与其门徒用数学方法及实验方法取得很多成果，这座大厦已经动摇了。吉尔伯特与哈维表明怎样用经验的方法来进行实验，伽利略证明哥白尼与刻卜勒认为在天体现象中有根本意义的数学简单性也可以在地面上的运动中发现。经院哲学用“本质”、“原因”来不精确地描述运动，以说明物体为什么运动，现在这些已经为时间、空间、物质及力等概念所代替。这些概念第一次有了明晰的定义，而且人们还利用这些概念，运用数学的方法，发现了物体怎样运动，并测定了运动物体的实际速度与加速度。

伽利略更用实验证明要使物体继续运动,并不需要继续施力。一经开动之后,物体靠了与重量有关的某种内在性质会继续前进。在这里,伽利略已经接触到质量和惯性的概念了;虽然他还没有明白地给这个概念下一个定义,他对落体的观察,如果了解得正确的话,已经足以表明这个概念与重量的确切关系。经院哲学家赋予亚里斯多德的本质与性质的无上地位,肯定地让给物质与运动了。147 哥白尼与刻卜勒赋予数学和谐的神秘意义,正在转变成另一种观念:在一个变化可以以数学公式用物质和运动来表达的时候,这个变化也就可以从机械上来解释,要么用伽利略的力来解释,要么用笛卡尔所想象的旋涡那样的接触来解释。在1661年,波义耳仍然可以反驳经院哲学的观念在化学中的重要性;在物理学中,它们已经死了,但还没有埋葬,从牛顿与其同代人的著作中,还可以听到旧日争论的回声。新的数学方法在动力学中的威力,到1673年惠更斯(Huygens)发表了他对重力、摆、离心力和振动中心的研究结果时,就更加明显了。

原子说的一般观念被伽利略采纳了。而伊壁鸠鲁的旧说则由伽桑狄更充分地加以修正与发挥。人们最初是从动力学和天文学的大规模现象中形成这样的概念的:自然界从根本上来说是由运动中的物质组成的。现在,这种概念也参加到人们对于物体内部结构的看法中来。原子论并不是伽利略的动力学所必需的,但和根据伽利略的研究成果形成的一般科学观点却也能融合无间。

行星间的以太观念是在十七世纪的思想中开始起作用的另外一个希腊观念。刻卜勒用这个观念来说明太阳怎样使行星运行不息;笛卡尔给它披上了不可捉摸的流质或本原物质的伪装形成他的天体机器的旋涡,并且提供了从纯粹广延性中推导不出来的重量与其他性质;吉尔伯特用它去解释磁力的吸引,而哈维则认为以

太是把太阳热力传给生物的心脏与血液的媒介。

以太观念那时还和神秘学派用来解释存在的本性的盖伦的灵气或灵性混淆不分①。我们要记住现代人对物质与精神所作的区别那时还不明确。"灵魂"、"动物元气"一类观念,在当时仍然看做是"发射气"、"蒸发气",可是在我们看来,"发射气"和"蒸发气"却是物质的。物质与精神的一致,就这样维持着。只有笛卡尔是例外。他首先明白地看出在空间中延展的物质和思想着的心灵有根本差别。在当时大部分人看来,这个分界线似乎存在于一边是固体与液体,另一边是气、火、以太与精神之间。所以用"以太"来解释现象,就是为直接的神灵干预留下余地。 148

吉尔伯特对当时流行的观念表达得很清楚。他以为磁力是把物体吸引到磁石这边来的所谓"磁素"造成的。重力与磁力有同样的性质,每个物体都有一个"灵魂",它能放射到空间中去并吸引一切物体。

最后我们不要忘记,十七世纪中叶所有的合格的科学家与差不多所有的哲学家,都从基督教的观点去观察世界。宗教与科学互相敌对的观念是后来才有的。伽桑狄在重新提出原子论的时候,小心避免同古人给与原子论的无神论沾了边。虽然笛卡尔的反对者指摘他设计了一个十分有效的宇宙机器,没有给上帝的控制留下余地,可是笛卡尔仍然认为自然界的数学定律是上帝所建立的,通过思想世界也可以接近上帝。霍布斯的确把哲学局限于自然科学所取得的实证知识,对神学加以抨击,并且把宗教叫做公认的迷信。可是他却同意国家应该建立和实行以圣经为根据的宗教。不

① A.J.Snow, *Matter and Gravity in Newton's Physical Philosophy*, Oxford, 1926, p.170.

过，他的态度是一个例外。一般说来，一切学者都接受了有神论的根本假定，这并不是为了护教的缘故，而是由于他们认为这个假定是普遍接受的资料，任何宇宙学说都必须同它相符合。

中世纪的许多思想方法当时还残存着；波义耳需要反驳经院哲学家的化学观念，不亚于需要反驳炼金家的化学观念。哥白尼的理论虽为数学家和天文学家所承认，但是一般教科书所讲授的仍然是托勒密的体系。占星术仍为人所重视。由于内战的缘故，世事变化不定，机遇无常，因此占星家的每一个预言差不多都肯定有机会应验[①]。就是牛顿，在少年时代也觉得占星术是值得研究的。1660年，他初入剑桥大学，在别人问他要学什么的时候，据说他回答道："数学，因为我打算去检验人事占星术"[②]。这个事例，说明牛顿一生中心理观点的转变，这转变主要是由他自己的工作造成的。占星术的著作，特别是历书之类，虽在牛顿之后很长时期里仍继续出版，但到十七世纪末年，就只有无知识的人才对它们感兴趣了。

149

科学院[③]

帮助造成牛顿的学术环境的还有一些别的因素。多年来受到亚里斯多德派的阻挠的新学术，这时已经渗透进有些大学。热心自然哲学的人数迅速地增加，增加的一个表现，便是学会或学院的纷

---

① *Dict.Nat.Biography*, "William Lilly", "Henry Colley", "John Case".

② Reverend H. T. Inman, *Sir Isaac Newton and one of his Prisms*, Oxford (privately printed), 1927.

③ T.Sprat, Bishop of Rochester, *Hirtory of the Royal Society*, 1667; *Record of the Royal Society*, London, 1912……; Martha Ornstein, *Scientific Societies in the Seventeenth Century*, Chicago and Cambridge, 1928; R.W.T.Gunther, *Early Science in Oxford*, 1921 *et seq.*; H.Brown, *Scientific Organisation in France*, Baltimore, 1934.

纷成立。会员常常聚会，以讨论新问题并推进新学术。这类学会中的最早一个，在1560年出现在那不勒斯，名叫“自然秘奥学院”。1603至1630年，伽利略所属的第一个“林猗学院”成立于罗马，1651年，梅迪奇(Medici)贵族们在佛罗伦萨创立了“西芒托学院”。在英国，学者们从1645年起，以哲学院或“无形学院”的名义，在格雷汉大学或伦敦其他地方集会。1648年，大部分会员因内战迁到牛津，但1660年，伦敦的集会又恢复举行。1662年，在国王查理第二的特许下，这个学会正式定名为“皇家学会”。在法国，同类的科学院于1666年由路易十四创立，类似的组织不久也出现于其他国家。这些学会进行了充分的讨论，集中了科学界的意见，公布了会员们的研究成果，因而这些组织成立后，科学的发展愈加迅速，特别是大半的学会不久都开始发行定期刊物。独立的科学杂志最老的一个似乎是《学人杂志》，1665年在巴黎首次发行。三个月后，又有《皇家学会哲学杂志》问世，这最初是皇家学会秘书私人的事业。别的科学杂志不久也相继出现，不过，直到十七世纪末叶或更后，数学家们还主要是靠私人通信来宣布他们的研究成果。这是一个效率低微的办法，有些发明先后的争执即由此而起，如牛顿和莱布尼茨之间的争执。

刻卜勒的研究成果提供了太阳系的模型，但是，这个模型的大小——太阳系的实际大小——在用天文单位测定一个距离以前，是无法确定的。

在1672—1673年，路易十四的大臣科尔伯(Colbert)派遣里希尔(Jean Richer)到法属圭亚那的卡宴(Cayenne)去进行航海上有用的天文学观测。他就测量过行星火星的视差。他的研究成果的最显著的结果，就是认识到太阳和较大行星的巨大体积，以及太阳系的惊人的规模。地球和地球上的人相形之下，就显得很小了。 150

牛顿与引力

我们已经简要地叙述过牛顿开始工作时科学知识和哲学见解的概况。爱萨克·牛顿(Isaac Newton, 1642—1727年)是一个有120英亩土地的小地主所有者的遗腹独生子。牛顿出生于林肯郡伍耳索普(Woolsthorpe in Lincolnshire),自幼身体纤弱,在格兰瑟姆文法学校(Grantham Grammar School)受过教育。1661年,他进了剑桥大学的三一学院,在那里他听过巴罗的数学讲演。1664年,他被选为三一学院的研究生(Scholar),次年被选为校委(Fellow)。1665至1666年,剑桥瘟疫流行,他返回伍耳索普,开始考虑行星的问题。伽利略的研究表明,要使行星和卫星在轨道上运行,而不循直线向空间飞去,必定有一个原因。伽利略把这原因看做是力,但这个力是否存在仍有待于证明。

据伏尔泰(Voltaire)说:牛顿在他的果园中看见苹果坠地时找到解决这个问题的线索。这个现象引起他猜度物体坠落的原因,并且使他很想知道地球的吸力能够达到多远;既然在最深的矿井中和最高的山上一样地感觉得到这种吸引力,它是否可以达到月球,成为物体不循直线飞去,而不断地向地球坠落的原因。看来,牛顿的头脑中已经有了力随着距离平方的增加而减少的想法,事实上,别人当时似乎也有这样的想法。在牛顿的异父妹汉娜·巴顿(Hannah Barton)的后裔朴次茅斯(Portsmouth)勋爵1872年赠给剑桥大学的牛顿手稿中,有一份备忘录,对于这些早期的研究有如下的叙述:

就在这一年,我开始想到把重力引伸到月球的轨道上,并且在弄清怎样估计圆形物在球体中旋转时压于球面的力量之后,我就从刻卜勒关于行星公转的周期与其轨道半径的二分之三方成比例的定律中,推得推动行星在轨道上运行的力量必定与它们到旋转中心的距离的平方成反比例:于是我把推动

月球在轨道上运行的力与地面上的重力加以比较，发现它们差不多密合。这一切都是1665与1666两个瘟疫年份的事，因为在那些日子里，我正在发现旺盛的年代对于数学和哲学，比以后任何年代都更加关心。惠更斯先生后来发表了关于离心力的研究成果，我想这些研究成果的取得应当在我以前。 151

读者当会看出，这里牛顿没有谈到他的朋友彭伯顿（Pemberton）所说的故事：牛顿所使用的地球大小的数值不精确，所得出的推动月球在轨道上运行的力与重力不合，因此，他就把他的计算搁置起来。相反地，牛顿却说他发现“它们差不多密合”。卡焦里(Cajori)教授也指出这一点①，并且提出证据，说明那时已经有几个关于地球大小的相当精确的估计值，牛顿在1666年很可能是知道的。其中之一是冈特(Gunter)的估计值：纬度1度等于66$\frac{2}{3}$法定英里，而据彭伯顿说，牛顿所用的数值是60英里。卡焦里说：

既然牛顿买过“冈特尔的书”，那么，很可能地，也可以说是无疑地，他知道冈特尔的估计值：1°＝66$\frac{2}{3}$法定英里，这与斯内耳(Snell)的数值是近似的。如果牛顿用了66$\frac{2}{3}$，他所算出的物体由静止坠落第一秒钟所走的距离就是15.53呎，正确的距离是16.1呎。误差只有3$\frac{1}{2}$%。也许正是由于取得这样的结果，牛顿才说“它们差不多密合”。

亚当斯(J.C.Adams)与格累夏(J.W.L.Glaisher)在1887年指出的牛顿所以迟迟不发表他的计算的原因，比较近乎情理。引力理论里有一大困难，无论如何牛顿是了解的。太阳和行星的大小与它们之间的距离比较是那样的小，在考虑它们之间的关系时，每一星体的全部质量可以看做集中在一点，至少是近似地这样的。可是月球与地球之间的距离相对地来说并没有那样大，要把月球

① *Sir Isaac Newton*, History of Science Society, Baltimore, 1928, p.127.

或地球当作一个质点看，便有问题了。还有，在计算地球与苹果之间的相互引力的时候，我们须记住和苹果的大小或它对地球的距离相比地球是很庞大的。第一次计算地球各部分对于它的表面附近的一个小物体的引力总和显然有很大的困难。这大概就是1666年牛顿把他的工作搁置起来的主要原因。卡焦里说牛顿也明白重力随纬度而有变化，同时，地球自转所造成的离心力也有影响；他觉得重力的说明“比他原来所想的更困难”。1671年，牛顿又好象回到这个问题，但他仍没有打算发表。也许是同样的考虑阻止了他。还有，当时他的光学实验引起的争论也使他感觉十分不快。他说：“我在过去几年中一直在努力离开哲学而从事其他研究”。事实上，他对化学好象比对天文学更感觉兴趣，对神学好象比对自然科学更感觉兴趣。他在晚年就很不愿把他在造币厂的公务时间使用到“哲学”上去①。

152

惠更斯(Christian Huygens，1629—1695年)是荷兰外交家和诗人的儿子，1673年发表了他的动力学著作：《摆钟论》。惠更斯以动力系统中活力(现时叫做“动能”)守恒的原则为前提，创立了振动中心的理论，并发明了一个可以应用于许多力学与物理学问题的新方法。他测定了摆长与摆动时间的关系，发明了表内的弹簧摆，而且创立了渐屈线的理论，包括摆线的性质在内。

但就我们的直接研究目的而论，他的最重要的研究成果是这部著作最后所谈到的关于圆运动的研究成果，虽然如上所说，牛顿在1666年一定也得到了同样的结论。我们可以用比较简单比较现代的方式把这一成果叙述如下②。设有一质量为 m 的物体，以速度 v 在半径为 r 的圆上运动，象拴在一条线上的石头旋转时那样，则照伽利略的原则，必有一个力向中心施作用。惠更斯证明这个力所生的加速度 a 必等于 v^2/r。

到1684年，总的引力问题就已经在大家的纷纷议论之中。胡克、哈雷(Halley)，惠更斯、雷恩(Wren)似乎都独立地指出过：如果把本来是椭圆的行星轨道当作是圆形的，则平方反比必为力的定律③。这一点可以立即从两个前提中推出。一个前提是惠更斯的证明：半径为r的向心加速度α是v^2/r；另一个前提是刻卜勒的第三定律：周期的平方，即r^2/v^2随r^3而变化。这后一结果说明v^2随$1/r$变化。因而，加速度v^2/r，也就是力随$1/r^2$而变化。 153

几位对这个问题进行进一步研究的皇家学会会员，特别讨论到如果一个行星像刻卜勒第三定律所指出的那样按平方反比的关系在吸引力下运行的话，它是否又能按照他的第一定律在椭圆轨道上运行。哈雷由于觉得没有希望从别的来源求得数学解决，就到剑桥三一学院去访问牛顿。他发现牛顿在两年前已经解决了这个问题，虽然他的手稿已经遗失。但牛顿重新写出一遍，并和“许多旁的材料”送给住在伦敦的哈雷。

在哈雷的推动之下，牛顿又回到这

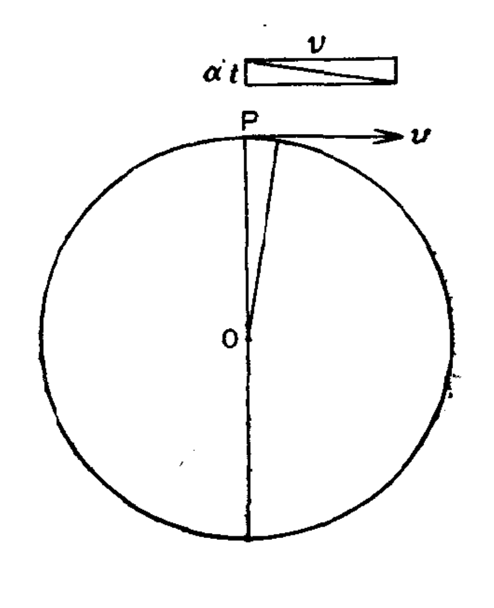


图 3

① L.T.More, *Isaac Newton, a Biography*, New York and London, 1934.

② 指向运动中心的加速度α，在短时间t内，将产生径向上的速度αt。假设在图3中圆周上的速度，即任何时刻在圆周的切线向上的速度为v。于是在圆上面代表半径向及切线向的两种速度所成的长方形两邻边之比为$\alpha t/v$，而这个比例又等于圆周上相邻两点的半径所成的小角，或vt/r。于是

$$\frac{\alpha t}{v}=\frac{vt}{r}\text{或}\ \alpha=\frac{v^2}{r}.$$

照牛顿的定义，力是质量与加速度的乘积，所以推动物体作圆运动的向心力是：mv^2/r。

③ W.W.Rouse Ball, *History of Mathematics*, London, 1901, p.342.

个问题。1685年，他克服了计算上的困难，证明一个由具有引力的物质组成的球吸引它外边的物体时就好象所有的质量都集中在它的中心一样。有了这个有成效的证明，把太阳、行星、地球、月球都当作一个质点看待的简化方法就显得很合理了，从而就把从前粗略近似的计算提高到极其精密的证明。格累夏博士在阐释这个证明的重要性时说：

从牛顿自己的话中，我们知道他在沒有用数学证明这个定理以前，从来沒有料到有这样美妙的结果，但一经证明这个精妙的定理以后，宇宙的全部机制便立刻展开在他眼前。……把数学分析绝对准确地应用于实际的天文问题，现在已经完全在他能力之內了。①

这一成就为牛顿的独创的研究，扫除了障碍，于是他努力把天体的力和地球吸引物体坠落的力联系起来。他利用皮卡尔(Picart)测量地球所得的新值，再回到重力与月球的老问题去。地球的引力现在可以看做有一个中心了，而且就在地球的中心，验证他的假设也是很简单的事。月球的距离约为地球半径的60倍，而地球的半径是4000英里。由此算出月球离开直线路径，而向地球坠落的速度，约为每秒0.0044英尺。如果平方反比律是正确的，这个力154 量在地球表面应该比在月球强$(60)^2$倍，或3600倍，所以在地面物体坠落的速度为3600×0.0044，或每秒约16英尺。这与当代观测的事实相合，于是这个证明完全成立了。于是牛顿就证明了平常向地面坠落的苹果或石头，与在天空中循轨道庄严运行的月球，同为一个未知的原因所支配。

他证明了重力必然要使行星轨道成为椭圆，也就意味着对刻

① J.W.L.Glaisher, *Address on the bi-centenary of the publication of Newton's* Principia, 1887.

卜勒定律给予合理的解释，并且把他在月球方面所得的结果推广到行星的运动上去。于是整个太阳系的错综复杂的运动，就可以从一个假设中推出来。这个假定就是：每一质点对于另一质点的引力，与两点的质量的乘积成正比并与其间的距离的平方成反比。这样推导出来的运动和观测结果精密符合，达两个世纪之久。彗星的运动一向认为是无规则而不能计算的，现在也就范了；1695年，哈雷说，他在1682年所看见的彗星，从它的轨道来看，实在为重力所控制；它周期地回来，事实上与贝叶(Bayeux) 毛毡上所绣的、在1066年被人当做是萨克逊人的灾祸预兆的那颗彗星，实在是同一颗彗星。

亚里斯多德以为天体是神圣而不腐坏的，和我们有缺陷的世界是不同类的，而今人们却这样把天体纳入研究范围之内，并且证明天体也按照伽利略和牛顿根据地面上的实验和归纳所得到的力学原理，处在这个巨大的数学和谐之内。1687年牛顿的《自然哲学的数学原理》的出版，可以说是科学史上的最大事件，至少在近些年以前是这样的。

引力的次要效应之一是潮汐。在牛顿考虑这问题以前，人们有许多混淆不清的看法。刻卜勒以为潮汐的成因在月球，但他是占星家，因而他同时相信恒星与行星也有影响。也许正是由于这个缘故伽利略才嘲笑他说："对于月球支配水以及神秘的特性等一类琐事，他都洗耳倾听，表示同意"①。

《原理》一书第一次为潮汐理论奠定了健全的基础。牛顿用数学的方法，研究了月球与太阳的引力合在一起对于地上的水的影 155

① *System of the World*, Galileo Galilei, Fourth Dialogue, quoted by J. Proudman, *Isaac Newton*, ed. W. J. Greenstreet, London, 1927, p.87.

响，同时还把流动的水的惯性及狭窄的海峡与运河的骚扰效果估计在内。潮汐情况是很复杂的，自牛顿以来，有许多数学家提出过详细的理论，其中可以提到的有拉普拉斯与乔治·达尔文爵士。但《原理》书中的一般论述仍然是有效的。



给予物质以惯性并且和重量迥然不同的质量的概念，起初暗含在伽利略的研究成果中，后来又明显地见于巴利安尼的著作中。巴利安尼是热那亚的弓箭队长。他把质与重加以区别[①]。在《原理》中，这个分别更加明确。牛顿根据波义耳关于空气容积与压力的实验，从密度方面达到质量的概念。既然在一定量的空气中，压力p与容积v成反比例，因此，它们的乘积pv是一个常数，可以用来量度一定容积中空气的质量，或者用原子论来说，代表压缩在那个容积里的质点的总数。牛顿给予质量的定义是："用物体的密度和体积的乘积来量度的、该物体中所含的物质的量"，而力的定义是"一个物体所受到的、足以改变或倾向于改变该物体的静止状态或等速直线运动状态的作用"。

牛顿把观察的结果与定义归纳为运动三定律：

定律一：每一物体都始终维持其静止或等速直线运动的状态，只有受了外加的力，才被迫改变这种状态。

定律二：运动的改变（即运动量的改变率ma），与外加的致动的力成比例，而发生于这种外力所作用的直线方向上。

定律三：反作用与作用总是相等而相反；换言之，两物体间的相互作用，总是大小相等，方向相反。

---

① 看"Newton and the Art of Discovery"，by J.M.Child, in *Isaac Newton*, p. 127。Child以为牛顿可能受了巴利安尼的影响。

牛顿所表述的动力学基本原理，支持了这一学科的发展达二百年之久。在1883年马赫发表他的《力学》第一版[①]以前，没有人对这一表述所依据的假定提出过严格的批评。马赫指出牛顿的质量定义与力的定义使我们陷入逻辑上的循环论证中，因为我们只有通过物质对我们的感官所产生的作用才能知道物质，而且我们也只能用单位容积中的质量来作密度的定义。

在总结动力学起源的历史时，马赫指出，伽利略、惠更斯与牛顿在动力学上的研究成果，实际上只意味着发现了同一条基本原理，可是由于历史上的偶然情况（这在一个全新的学科中是不能避免的），这一条基本原理却用许多貌似独立的定律或词句表达出来。 156

当两个物体互相作用，例如靠了其间的引力，或靠了一条把它们连接起来的螺旋弹簧相互作用时，它们相互产生的反向加速度的比例是一定的，而只决定于这两个物体中的某种东西，这种东西，如果我们愿意的话，可以叫做质量。这个原理是靠实验建立起来的，我们可以下一个定义说：两个物体的相对质量，是用它们的相反的加速度的反比例来量度的，而它们中间的力就是其中任何一个物体的质量与其加速度的乘积。

这样我们可以摆脱牛顿的质量定义与力的定义中包含的逻辑上的循环论证，而得到一个以实验为根据的简单陈述，由此可以推导出伽利略、惠更斯和牛顿的许多原理——如落体定律、惯性定律、质量的概念、力的平行四边形，以及功与能量的等效。

通过落体的实验，伽利略发现速度与时间成正比例而增加。这样一来，本原的关系就是：动量的增加，可以用力与时间的乘积来

① Dr E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung*, 1883.

量度，或 $mv=ft$，即牛顿定律。假使伽利略首先发现的事实是：由加速度 α 而来的速度，随经过的距离 s，按平方的关系而增加，则这种关系 $v^2=2\alpha s$（实即等于惠更斯的功与能量的方程式：$fs=\frac{1}{2}mv^2$），看起来就是本原的关系了。由此可见，力和动量所以看起来似乎比较简单和比较重要，功和能量的概念所以稽迟很久才被人接受，主要是由于历史偶然性的缘故。事实上它们是互相关联的，任何一方都可以从他方推导出来。

再回到牛顿的定义时，我们还可以用另一个方法逃避逻辑上的循环论证。这个方法虽然不如马赫的方法完备，对有关的问题却有所阐发。牛顿已经认识到，人们从肌肉用劲的感觉得到力的机械概念，他本来很可以从这条道路找到一条逃避循环论证的途径。动力学可以看做是把我们对于运动中的物质的感觉提高到理性水平的科学，正如热学同温暖的感觉有关一样。我们从空间或长度与时间的经验，得到本原的观念；我们肌肉的感觉同样地给我157 们力的观念。这一感官所粗略地量度出来的等量的力，作用于不同的物体时，将产生不同的加速度，因此我们可以把每一物体的惯性，即对于 f 力的抵抗，称为它的质量，并可以说，它是用一定的力所产生的加速度 α 的反比来度量的。因此 $m=f/\alpha$。这样，质量的观念就是从一个心理状态，即我们的肌肉对于力的感觉而来的。也许有人会批评这个方法把心理学引到物理学中来，但是，指出这样做，就可以免除物理学中逻辑上的循环论证，却还是有一定意义的。

在这样得到了质量的明确观念之后，我们就从实验中发现物体的相对质量大致是一个常数。于是我们可以提出一个假设说：这个近似的常数是严格真实的，或至少有高度准确的真实性，这样，我们就可以把质量 M 当作长度 L、时间 T 以外的第三个基本单位。

从这个假设得来的无数推论在J. J. 汤姆生与爱因斯坦的时代以前，同观测与实验是高度精确符合的。所以这个假设是经过充分的验证的，除了非常特殊的情况外，它还是有效的。

质量既然可以用惯性来量度，剩下来的问题就是找出质量与重量的关系了。所谓重量也就是把物体拉向地球的吸引力。这问题也为牛顿所澄清了。

史特维纳斯和伽利略的实验，表明两个重量不同的物体，W_1与W_2以同样的速度落地。物体的重量就是地球引力所产生的力，实验的结果证明重力所生的加速度α_1与α_2是相同的。根据上面所说的质量的定义，两物体的相对质量m_1与m_2可用以下的关系来确定：

$$m_1 = W_1/\alpha_1 \text{ 及 } m_2 = W_2/\alpha_2,$$

$$\alpha_1 = W_1/m_1 \text{ 及 } \alpha_2 = W_2/m_2。$$

现在我们了解，任何公式的玩弄[①]或任何形而上学的考虑（如经院哲学由亚里斯多德那里得来的）都不能导出两个自由落体的加速度的关系。等到史特维纳斯和伽利略用落体进行实验，才证明$\alpha_1 = \alpha_2$是一个事实。但是，这一点既经证明之后，从方程式所规定的质量、重量与力的定义便得：　158

$$\frac{W_1}{m_1} = \frac{W_2}{m_2} \text{ 或 } \frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1}{m_2},$$

即两物体的重量与它们的质量成正比例。这是一个真正惊人的结果。牛顿指出，这个结果要求重力必须“是从一个原因而来的，这个原因并不是按照其所作用的质点表面的数量而起作用（机械的

① 除非这玩弄者是爱因斯坦，而且公式中含有相对性原理。而相对性原理也是根据实验建立的。马赫在此似乎错了；他说从他的质量的定义可以得到质量与重量的比例关系，但他暗暗地引入了$\alpha_1 = \alpha_2$的结果。

原因常是这样的)，而是按照物体所含的实际质量的数量起作用的"[①]。事实上，牛顿的天文学研究的结果，证明重力的作用必定"贯彻到太阳的中心和行星的中心，而不丝毫减少它的力量"。

伽利略的实验没有达到，也不能达到很大的精确度。巴利安尼更仔细地重新进行了这个实验。他从一点让一个铁球和一个同样大小的蜡球同时坠落。他发现当铁球已落了50呎而到地时，蜡球还差1呎。他正确地解释这个差异是由于空气的阻力，这种阻力虽然对两个球体是一样的，但对于抵抗重量较小的蜡球更为有效[②]。牛顿对于这个结果更加以精密的考察。他从数学上证明一个摆锤摆动的时间必定与其质量的平方根成正比，与其重量的平方根成反比。他又用了不同的摆锤来做仔细而精确的实验，摆锤的大小相同，以便它们所受的空气的阻力相同。有的摆锤是各种物质的实体，有的是空球装上各种液体或谷类的颗粒。在所有的情况下，他都发现在同一地点，同长的摆在度量误差的极小范围之内，摆动时间是相等的。这样，牛顿就以更大的精确度证实了重量与质量成正比的结果，而这个结果本来是可由伽利略的实验推出来的。

数学方面的改进

把数理力学应用于天文问题的一个直接结果，便是需要改进研究中所用的工具——数学。因为这个缘故，刻卜勒、伽利略、惠更斯、牛顿诸人工作的时代，也就是数学知识与技术进步很大的时代。

---

① *Principia*, 1713 ed.pp.483—484.

② J.M.Child，上引书。

牛顿与莱布尼茨以不同的形式发明了微分学。发明的先后，后来虽有争执，但看来都是独立发明出来的[①]。变速观念的出现，要求有一种方法来处置变量的变化率。一个不变的速度可以用在时间 t 所经过的空间 s 来量度；不论 s 与 t 的大小如何，s/t 一量是一定的。但是如果速度是变化的，那么要找某一瞬间的速度值，只能就一个差不多觉察不出速度变化的极短的时间来量度在这个时间内经过的空间。当 s 与 t 无限地缩小，而成为无限小时，它们的商数即是那一瞬间的速度，莱布尼茨把这一速度写成 ds/dt，而叫做 s 对于 t 的微分系数。牛顿在他的流数法里，把这个数量写作 $\dot{s}$，这个写法用来不大方便，现在已被莱布尼茨的写法代替了。我们在这里不过是拿空间与时间来做例子罢了。其实任何两个量，只要是彼此依赖，都可用同样的方法来处理。x 对于 y 的变化率都可写作莱布尼茨的记法 dx/dy 或牛顿的记法 $\dot{x}$[②]。 159

逆转的计算，即微分的总和，或从变率去计算变量本身的方法，叫做积分，常常是比较困难的工作。在研究某些问题时，如牛顿要从球体中亿万个质点的引力去计算整个球体的引力，就得用积分法[③]。阿基米得用了类似的方法去计算面积与容积，但他的方法由于远远超过了他那时代，所以后来就失传了。

含有微分系数的方程式叫做微分方程式。很多物理的问题都可表达为微分方程式；困难通常在于求它们的积分，从而求出它们

① L.T.More, *Isaac Newton*, New York, 1934, p.565等页。

② 每个函数的微分系数之值都可计算出来，例如设 $y=x^n$ 则可得 $dy/dx=nx^{n-1}$。

③ 每个微分，都有一个对应的积分；因此上面所举的微分例中 x^n 即是对应的积分。可以证明：

$$\int x^n dx=\frac{x^{n+1}}{n+1}+c,$$

除非 n 是 -1，那时积分是 $\log x+c$。在每一例里，c 都是一个未知的常数。它在许多实际问题中，都是可以消去的。

的解答①。有一个事实说明牛顿了解这个原理：他算出了一张数
160 字表，来表达光线在大气中的折射，而所用的方法则无异于列出光线路径的微分方程式②。

在《原理》中，牛顿把他的结果改成欧几里得几何学的形式，其中许多结果可能是通过笛卡尔坐标与流数法求得的。微分学迟迟才为人知道；但在莱布尼茨和别尔努利（Bernouilli）所赋予的形式中，微分学却是现代纯数学和应用数学的基础。

牛顿在数学的许多别的分支中也有不少贡献。他确立了二项式定理，提出了很多方程式理论，而且开始使用字母符号。在数理物理学中，除了已经叙述过的动力学和天文学外，他还创立了月球运行的理论，算出了月球位置表，由这个表可以预测月球在恒星间的位置。这一工作成果对于航海有无上价值。他创立了流体动力学，包括波的传播理论，且对流体静力学作了很多的改进。

物理光学与光的理论

单凭他在光学上的成就，牛顿就已经可以成为科学上的头等人物③。光的折射定律，即入射角与折射角的正弦之比为一常数，是斯内耳在1621年所发现的。费马则指出，按这条路径前进，通过

① 举一个简单的例，方程式 $ydx+xdy=0$ 可以改写为

$$\frac{dx}{x}+\frac{dy}{y}=0.$$

于是可以分项积分，便得

$$\int\frac{dx}{x}+\int\frac{dy}{y}=c \text{或} \log x+\log y=c$$

② Letter to Flamsteed. *Catalogue of the Newton MSS*, Cambridge, 1888, p. xiii.

③ 看 *Optics, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, by Sir Isaac Newton, Knt, London, 1704, 1717, 1721, 1730, 再看"Newton's Work in Optics", by E. T. Whittaker, in *Isaac Newton*, ed. W. J. Greenstreet, London, 1927; and in *A History of Theories of the Aether and Electricity*, E. T. Whittaker, 1910。

时间最短。1666年牛顿得到“一个三棱镜来实验有名的色彩现象”，而且他选择了光学来做他讲课和研究的第一个题目。他的第一篇科学论文也是讲的光学，1672年发表在《皇家学会哲学杂志》上。德·拉·普敕姆(De la Pryme)在他的日记中说：1692年牛顿往礼拜堂时，忘记了熄灯。这引起了一场火灾，把他的著作都焚毁了，二十年的光学研究成果也在其中。但牛顿在他的书的序言中却没有提及这件事。他说：“1675年应皇家学会某些会员的请求，写了一篇关于光学的论文，……其余则是大约十二年后加入的。”

1611年，斯帕拉特罗的大主教安托尼沃·德·多米尼斯(Antonio de Dominis)提出一种虹霓的理论。他说由水滴内层表面反射 161 出来的光，因经过厚薄不同的水层，而显出色彩。笛卡尔提出一个更好的解释。他认为色彩和折射率有关，并且成功地算出虹霓弯折的角度。马尔西(Marci)使白光透过棱镜，并发现有色彩的光线不再为第二棱镜所散射。牛顿把这些实验加以扩大，并且把有色光线综合成白光，从而澄清了这个问题。他还认为望远镜里妨碍视线的各种色彩也是由于类似原因而产生的，并且错误地断定，要阻止白光分散成各种色彩就必然要在同时阻止放大率所必需的折射；因而他认为要改进当时的折射望远镜是不可能的，于是他发明了反射望远镜。

其次，他还考察了胡克描写过的肥皂泡和其他薄膜上都有的薄膜的色彩。他把一个玻璃三棱镜压在一个已知曲率的透镜上，颜色就形成圆圈，后来被人叫做“牛顿环”。牛顿仔细地测量了这些环圈，并把它们一点一点地和空气层厚度的估计数比较。他又用单色光重复了这个试验，这时只有光环与暗环交错出现。牛顿断定每一确定颜色的光都是痉挛似地时而容易透射，时而容易反

射。如果在反射光下去看白色光所成的环，某一在一定厚度下恰好透射过去的颜色便不会反射到眼里，于是眼所看见的便是白色光减去这一颜色的光，换言之即看见一种复色光。牛顿于是推断：自然物的颜色至少有一部分是由于它们的微细结构的缘故，他并且算出产生这种效果所必需的大小。

格里马耳迪 (Grimaldi) 的实验，证明极窄狭的光束平常虽走直线，但遇到障碍时就沿障碍物的边角而弯曲，所以物影比其应有的形式为大，因而形成了有颜色的边沿。牛顿重复并扩大了格里马耳迪的实验。牛顿证明让光线通过两个刀口之间的狭缝，弯曲度就更大了。他对狭缝的宽窄和偏转的角度都进行了仔细的观察与测量。

牛顿还考察了惠更斯所发现的光线通过冰洲石所生的异乎寻常的折射现象。在这种矿石里，一条人射光产生了两条折射光；在把这两条光线的一条分离出来，使它再通过另一冰洲石时，如果第二个冰洲石的结晶轴与第一个的轴平行，这条光线仍能通过，如果162 两个冰洲石的轴恰成正交，这条光线便不能通过。牛顿看出这些事实说明不管一条光线怎样，它不能是对称的，而必然在不同的方面有一些不同。这就是偏振理论的要点。

除了这些现象之外，在考虑光的性质时，还有一个事实也需要估计在内。1676 年，勒麦 (Roemer) 观察到当地球行到太阳与木星之间时，木星的卫星的掩食比平常约早七、八分钟，反之，若地球在太阳另一面时，木卫的掩食，则常迟七、八分钟。在后一情形下，木卫的光线须行过地球的轨道，即比前一情形的距离长些。观测所得的差异说明光的传播需要时间，而不是一发即到。

牛顿说他本来还打算进行一些光学实验，但由于办不到，所以他对于光的性质也就没有得出明确结论，只提出一些问题让别人

去探讨与解答。他的最后意见，似乎总结在第29问题中①：

> 光线是不是发光体射出的极小物体？因为这样的小物体可以直线地经过均匀的介质，而不弯曲到阴影中去②。这正是光线的本性……。如果折射是由于光线的吸引力形成的，则入射角的正弦必定与折射角的正弦成一定的比例。

根据光的微粒说，很容易说明这个"一定的比例"必定可以量度光线在密的介质中的速度和在稀的介质中的速度的比例。牛顿继续说：

> 要使光线时而容易反射，时而容易透射，只需要它们是一些小物体，这些小物体靠了它们的吸引力或某种别的力量，在它们作用的物体中激起颤动，这些颤动比原来的光线更要迅速，于是次第赶上它们，并且搅动它们，仿佛轮流地增加或减少它们的速度，因而使它们具有那种特性。最后，关于冰洲石的反常折射，看来那很象是隐藏在光和冰洲石晶体质点的某几边的某种吸引力造成的。

把光线看做是射入眼中的微粒的观念，可以追溯到毕达哥拉斯派。恩培多克勒与柏拉图则认为眼里也射出一些东西。这种触须式的理论也为伊壁鸠鲁和卢克莱修所持有。他们有一种混乱的观念，以为眼看物与手以棍触物有些相同。亚里士多德反对这看法，主张光是介质中的一种作用(ἐνὲργεια)。所有这些都不过是猜度，无论对与不对，同样是无价值的。不过，在十一世纪，阿耳哈曾(Alhazen)却举出一些明确的证据，说明视象的原因在于对象，而不是来自眼中，可是在他的时代以后很久，还时常有触须式的见解出现。 163

笛卡尔认为光是一种压力，在充满物质的空间内传播。胡克说光是介质中的迅速颤动。这个波动说经惠更斯加以相当详细的发挥。他用几何学的作图法(图4)，描绘了折射的过程。当光的

① 上引书，p. 347。

② 这是不计算由衍射而来的微小偏折。

一个波阵面(AC)由空气投到水面(AB)之时，水面上每一点就都成为一个反射到空气中去的小圆波，和散布到水里去的另一个小圆波的中心。如果把水面每一点的小圆波依次绘出，它们将相交而成新的波阵面，一在空气中，一在水里面(DB)。在这些波阵面，而且只有在这里，这些小波会彼此增强，而产生可感觉到的效果。这样形成的波阵面与我们所知的反射和折射定律都很相合。如果光的速度在水中比在空气中小(这假设与微粒说所需要的恰好相反)，则在某一瞬间，水中小波的半径将比空气中小波的半径小，所以折射的光线将更接近于法线，这正是自然界里所发生的现象。

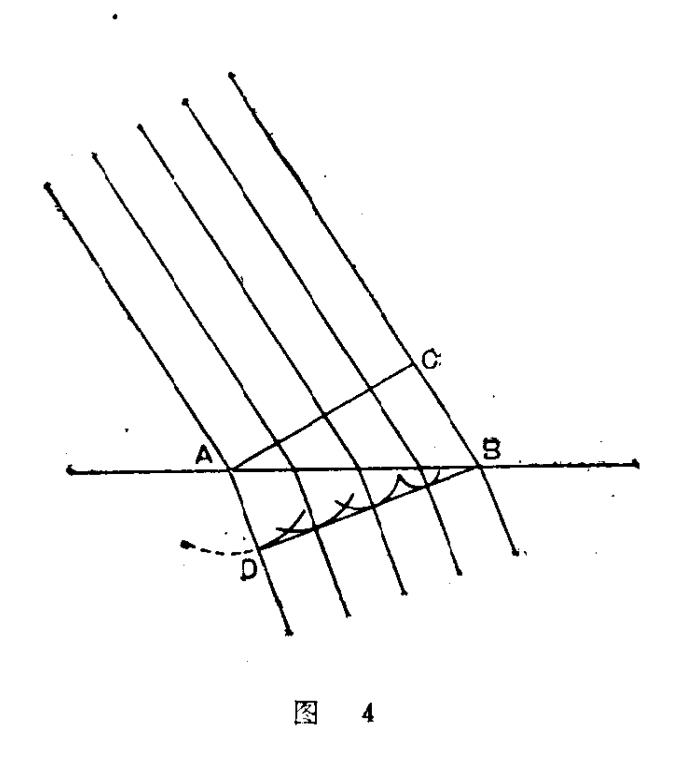


图 4

波动说的主要困难，在于说明清晰阴影的存在，即在解释光的直线传播。平常的波能绕过障碍物，不表现这种性质。一百年后弗雷内尔 (Fresnel) 解决了这个困难。他证明光的波长比所遇的障碍物的体积小得异常之多，所以光波和平常的波不同。但在牛顿看来，光的直线路径似需要微粒说才能解释。

在上面所引的一节中，牛顿觉得要解释光的周期性，须得想象有一种比光更速的颤动。在以前的问题中，他明白地想象有一种以太担任别的类似的次要任务。例如，他在问题第18里① 说：

164

① 上引书，323页。

如果在两个大而高的倒置玻璃圆筒里，悬上两个小温度计，不要让它们和圆筒相接触，然后把一个圆筒里的空气抽去，再把这两个圆筒由冷的地方搬到热的地方；在真空中的温度计将与在非真空中的一样变热，而且差不多一样的快。再把这些圆筒搬回冷的地方时，真空中的温度计与其他一个差不多一样快的变冷。暖室里的热是不是借一种比空气还要微妙的介质的颤动，在真空中传达呢？这种微妙的介质，是空气抽出后仍然存在在真空中的。这种介质是不是就是光折射和反射所凭借的媒介呢？光是不是就靠了这种介质的颤动传其热于物体，并且变得时而容易反射和时而容易透射呢？是不是热体中这种介质的颤动，帮助热体维持其热的强度与期间呢？热体传其热于附近的冷体时，是不是靠了从热体中传播到冷体中去的这种介质的颤动呢？这种介质是不是比空气还要稀薄与微妙万分，还要有弹性和活泼万分呢？它是不是很容易渗透到一切物体中去呢？它是不是(由于富有弹性)弥漫于一切天体中呢？

牛顿接着表示：光的折射是由于这种介质在不同物体中有不同的密度的缘故；它在重物体中比较稀薄，在太阳和行星体内比在自由空间格外稀薄，而在自由空间中，离物质愈远这介质就愈浓密。他想这样去解释万有引力，去解释微粒说所需要的光在密的介质中的较大的速度。障碍物边缘的衍射是物质对表面以外的以太的影响所造成的一种折射。所以在牛顿看来，以太是光和可称量的物质之间的一种中间物。但是我们不要忘记，这些见解不过是牛顿书中正文以外提出的一些疑问。牛顿明白地指出进一步的实验是必需的，而他提出这些问题，是请旁人解答。有人抱怨说人们所以迟迟不接受光的波动说是由于牛顿的权威的缘故，但这种抱怨只有对于那些认为他的疑问里已经包含了解答的人，才适用。

读者当会看出，如果光在空气中和水中的速度可以测量出来或加以比较的话，就可以进行一次决定性的实验，来判断这两个学说孰是孰非。1850年左右，弗科(Foucault)根据直接观测，第一次进行了这种实验。光的速度在水中较小，合于波动说的需要。

但近年来在阴极线中和放射物过程中发现了运动迅速的质点
165 或电子。这说明和牛顿所想象的质点很相似的质点现时已可观察得到。事实上，牛顿理论的最可注意之点，是它和十分现代的观念相似，因为在牛顿看来与普兰克和J. J. 汤姆生看来一样，"光的结构基本上是原子的"，薛定谔等人还必须想象有一种由质点和波动组成的复合体，这同牛顿的想法更是依稀仿佛。当我们想到这些发现以及许多别的发现不过是一位青年人的成就，这个人后来做了造币局长，把他的晚年时间用于实际铸钱工作，又把他的闲暇消耗在思辨的神学著作上的时候，我们不禁对于他的心灵惊叹不置，象古代德谟克利特一样，他真可算是人类中杰出的天才。

化　学

前章所叙述的化学与医学的结合，直到十七世纪之末仍然统治着这两种学科。医药化学家逐渐把化学从依附于炼金术的不名誉的状态中解放出来，纳入职业研究的范围中去。已知的元素和化学反应的数目大大增加，从而奠定了提高化学理论的基础。

我们讲过波义耳怎样在他的《怀疑的化学家》一书中，反驳"火的理论"的残余——一方面是亚里斯多德的四元素，另一方面是当时流行的化学理论，主张盐、硫、汞是三个主要原质。他的《怀疑的化学家》一书是化学走向现代观点的转捩点。

牛顿在他的房间后面，剑桥大学大门口与三一学院礼拜堂之间的花园里，设立了一个实验室。他无疑是在这里进行他的光学和其他物理学学术的实验的，但他也研究了化学。他的族人和助手汉弗莱·牛顿(Humphrey Newton)说[①]：

① *Sir Isaac Newton*, History of Science Society, Baltimore, 1928, p. 214.

他很少在两三点钟以前睡觉，有时一直到五六点钟才睡觉……特别是在春天或落叶时节，他常常六个星期一直留在实验室里，不分昼夜，炉火总是不熄，他通夜不睡，守过一夜，我继续守第二夜，一直等到他完成了他的化学实验才罢休。

牛顿的化学兴趣似乎主要在于金属，在于化学亲合力的原因和物质的结构。在他的《光学》第31问题里，有这样一节：

物体的小质点是不是有某种能力、效能或力量，使这些小质点可以起超距作用，不但作用于光而令光发生反射、折射与弯曲，而且互相作用，造成很大一部份的自然现象呢？物体因重力、磁和电的吸引而互相作用已是熟知的事情；这些例子表现了自然之理，因而在这些吸引力之外也许还有别的吸引力，因为自然是极有常规而不会自相矛盾的。至于这些吸引力如何形成，我不在这里讨论。我所说的吸引力也许是靠了冲动或我所不知的方法形成的。我用的吸引力一词，只是一般地指使物体互相接近的力量，不管它的原因是什么。因为我们在探讨吸引力形成的原因以前，必须先从自然现象了解哪些物体互相吸引，和吸引的性质与定律是怎样的。重力、磁和电的吸引，达到相当远的地方，因而常人的眼中也能看见。可能还有作用于极短距离的吸引力，直到现今还没有被人观察到，电的吸引力也许在没有被摩擦所激起的时候也可以达到那样的短距离。 166

酒石酸盐在空气中潮解，不是由于它对于空气中的水蒸汽的质点有吸引的倾向吗？为什么普通的食盐、硝石或硫酸盐不潮解，岂不是因为它们没有那种吸引力吗？……纯硫酸能从空气中吸收很多的水，到饱和之后才不再吸收，以后要在蒸馏中把水蒸发出去也很困难，这不是因为水的质点与硫酸的质点有同样的引力吗？硫酸与水依次倾入一个容器，而混合起来的时候变得很热，这不是说明溶液里各部中有极大的运动吗？而这个运动不是表明这两种液体在混和时，有激烈的结合，因而以加速运动互相冲击吗？

牛顿在炼金术和化学上所花费的时间，比花在使他成名的物理学上的，可能还要多些。他没有写一本有关他的化学工作的书，除了在《光学》一书里所提的问题之外，只能在他的遗稿上找着一点记录。这些文件表明他对于合金特别感兴趣。例如，牛顿说熔

点最低的铅、锡、铋合金，其成分的比例为5∶7∶12。他的这些笔记里节录了许多炼金术的著作，还有关于火焰、蒸馏、由矿石中提取金属，以及许多物质和它们的反应的化学实验的记载。这些手稿经人整理，并附上年表，而在1888年发表①，但其节要过于简短，似乎有重加整理的必要。牛顿在化学上，虽然不象在物理学上那样有特出的发现，但他对于化学的见解远远超过当时的化学家。例如，他对火焰的意义就有深刻的认识。他认为火焰与蒸汽不同，就如赤热的物体与非赤热的物体一样②。这种看法比亚里斯多德关于火是四元素之一的说法，与当时化学家用盐、汞、硫三原质来解释物质的见解，远远更接近于现代的思想。

167

牛顿关于物质结构的见解已见上述。他承认了原子说，使它得到正统的地位，虽然那时原子论还不能达到精确与定量的形式，如以后道尔顿所完成的那样。伏尔泰在他的《哲学词典》中有这样一段话③：

> 物质的充实性今天已认为是虚幻了……空虚，已经被承认了；最坚硬的物体都被看做象筛一样多孔，事实上确是这样。不可分割与不可改变的原子被接受了。不同的元素和不同的种类的存在物的永久性都应归功于这种原理。

生物学

前章已经讲过透镜的改进与复显微镜的发明，对动物组织与器官的研究产生很大影响。在我们现在要讲的时期中，学者们，尤其是格鲁(Grew)与马尔比基(1671年)又把这样的方法推

① *A Catalogue of the Portsmouth Collection of Books and Papers written by or belonging to sir Isaac Newton*, Cambridge, 1888.

② 上引书p. 21。

③ Ida Freund 翻译的：*The Study of Chemical Composition*, Cambridge, 1904, p. 283。

广到植物学中。关于植物的细胞与器官的正确的观念也开始形成。

从德奥弗拉斯特 (Theophrastus) 到舍萨平尼 (Cesalpinus)，好像没有人注意生殖器官。首先从事这一研究的也许是格鲁。1676年他在皇家学会宣读了一篇植物构造的论文，他讲到雄蕊是雄的生殖器官，并叙述了它的作用，但把这一学说的功绩归于牛津大学教授米林顿 (Thomas Millington) 爵士。杜宾根的卡梅腊鲁斯 (Camerarius)、莫尔兰(Morland)、杰沃弗罗瓦(Geoffroy)诸人在巴黎科学院提出的论文中，又添了一些肯定的证据和细节。这些植物学家弄明白了：没有雄蕊粉囊里的花粉，雌蕊的受胎或种子的形成是不可能的。

早期动植物的分类，主要以功利主义的观念为根据或根据表面的显著特点，如把植物分为草本、木本与灌木等类便是。但在1660年，植物学史上的一个杰出的人物约翰·雷(John Ray，1627—1705年)[①] 开始发表论述系统植物学的一系列著作中的第一部著作。这些著作引起植物分类的大改进，同时也促进了形态学的进步，例如对于芽的真正性质的认识便是。约翰·雷最先看到把植物胚胎中的单子叶与双子叶加以区别的重要性，又利用果、花、叶和其他特性，首创植物分类的天然系统，并指出许多植物的纲目，至今仍为植物学家使用。此后他转而研究动物的比较解剖学，又促进了自然的分类，如将动物分为兽、禽和昆虫便是。约翰·雷常与维路格比 (Francis Willughby) 一块出外旅行，研究植物和动物，足迹遍于全球。约翰·雷不以古人的见解为最后权威，而将现代的自然历史建立在观察的稳固基础之上。 168

---

① *John Ray*, by C. E. Raven, Cambridge, 1943.



牛顿工作的两个最大的结果是，（1）证明地上的力学也能应用于星球；（2）从自然科学的大厦中排除掉不必要的哲学成见。希腊与中世纪认为天体具有特殊的和神圣的性质。这种见解已经部分地被伽利略的望远镜所解除了，但牛顿则更进一步加以摧毁。那时哲学与科学仍是混淆不清。连笛卡尔在为天文学建立一种力学理论时，也把它放在经院哲学的相反的观点和认为物质的本质是广延性的形而上学见解的基础上。牛顿摆脱了这些先入之见，实在是一种真正的进步。他对他的研究成果的解释，又包含了多少新的形而上学，我们将要在下面再加以说明。

他的工作的意义，在他的直接弟子们看起来究竟怎样，可以从科茨(Roger Cotes)所写的《原理》第二版的序言中看出。在这里，科茨把残存的经院哲学和它固有的与不能解说的特性，笛卡尔想要在充满旋涡的实体空间的基础上建立自然界机械体系的、为时过早的尝试，以及牛顿只承认与观测符合的假设的方法，加以比较。科茨说：

研究自然哲学的人可以大致分为三类。有些人把一些具体的神秘的性质归于几类物体，他们又断定某些物体的作用不可思议地决定于这些性质。亚里斯多德和逍遥学派所传下来的各学派的学说，一齐都包括在这里面。他们断言物体的若干效果是由于那些物体的特殊性质而产生的，但那些物体从何处得到这些性质，他们却不告诉我们，因此实际上他们沒有告诉我们什么。他们只是致力于给事物起名称，而不探索事物本身。我们可以说他们发明了一种富于哲学味道的说话方式，并沒有把真正的哲学告诉我们。

因此，另外一些人就撇开大堆无用的词句，想使他们的勤劳收到较好的

① 特别看牛顿《原理》中的序和附言，以及《光学》中的疑问。并看：A. J. Snow, *Matter and Gravity in Newton's Physical Philosophy*, Oxford, 1926；E. A. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Science*, New York, 1925。

效果。他们假定一切物质是纯一的，物体所表现的多种多样的形式，是由于组成它的质点具有极平常而简单的亲合力所造成的；他们这种由简单物走到复杂物的方法当然是正确的，只要他们不在自然赋予质点的基本亲合力的性质之外，另外再给这些亲合力添上一些性质。但是当他们任意想象未知的图形与大小以及各部份的不能肯定的情况与运动的时候，当他们还设想有一些 169 神秘的流质，自由弥漫于物体孔罅之中，具有无所不能的微妙性，带着神秘不测的运动的时候，他们这时就已经进入梦幻的境界，而忘记了物体的真正结构；这种结构，我们凭借最精确的观测还很难达到，凭借谬妄的猜度就更沒有希望达到了。有些人把假设当作构造他们的玄想的基础，也许的确能形成一部奇妙的传奇，但也仍然不过是传奇而已。

剩下的还有倡导实验哲学的第三类人。这些人诚然要从可能的最简单的原理中去寻找万物的原因，但他们从不把未经现象证明的东西当做原理。他们从不构造假说，也不把假说放进哲学里去，除非把它当做真实性还可以商榷的问题。他们所用的方法，有综合与分析两种。从一些选择出来的现象，他们用分析的方法推出自然界里的力以及力的简单定律；又从这里用综合的方法推证其他的结构。这是哲学探讨的无可比拟的最好方法，我们的著名作者最先最正确地掌握了这个方法，并且认为只有这个方法才值得他用他的卓越的劳动去加以发扬光大。在这方面，他给我提供了一个最光辉的范例，那就是根据重力理论极美满地推出来的对于世界体系的解释。

牛顿的动力学与天文学的基础，建立在绝对空间与绝对时间的观念上。牛顿说他“他不给时间、空间与运动下定义，因为它们是人人都熟悉的”，但是他却把我们的感官根据自然物体和运动所量度的相对空间与时间，同不动地存在着的绝对空间，和“不管外界情形如何”，均匀流动着的绝对时间区别开来。“流动”观念带来了时间的流动性，作为它的必要组成成份，因而这个时间的定义里包含循环的因素，不过，这个定义已经很够牛顿用了①。伽利略的球在地球上依直线运动。但地球既绕地轴旋转，又围绕太阳运行，

① G. Windred, “History of Mathematical Time”, *Isis*, No.19, 1924, p.121 and No.58, 1933, p.192.

而太阳与行星更在恒星间前进。牛顿的结论是物体总是在绝对空间里作等速直线运动，除非为外力所改变。1883年马赫指出把这个推理推到恒星的参照座标以外，是不恰当的。再从现代知识看来，我们可以更清楚地看出绝对时间与绝对空间的观念，是一些不一定可以从物理现象得出来的学说，虽然在十七世纪这些观念也许是从一般经验的事实中得出的很好的假设。事实上，彻底的相对论者，要免除使用绝对旋转的观念，也仍然是有困难的。

170 惠更斯与莱布尼茨责难牛顿的工作是非哲学的，因为他对于万有引力的根本原因并未加以说明。牛顿最先清楚地了解到如果这个说明是需要或有可能的话，它必定是后来的事。他从已知的事实出发，想出一个符合于事实而又能用数学表达的理论，从这个理论得出数学的和逻辑的推论，又把这些推论与观测和实验得来的事实比较，并发现其完全符合。引力的原因不一定必须知道；牛顿看来，这是一个次要而无关的问题，在当时只达到适于猜想的阶段。我们现在可更进一步说，知道这样一个引力实际存在也并无必要。只要晓得复杂的行星运动就好象太阳系里每一质点都按质量及平方反比的定律被另一质点吸引着似的，这在数理天文学家看来已经够了。

牛顿的吸引质点，不一定就是原子，但它们显然很可以起原子的作用。在他的化学研究中，牛顿又回到质点的问题。他对于物质本性的意见见于他的《光学》书末尾人们常常引用的一段话中：

在考虑了这一切以后，我觉得好象是这样的：上帝在开头把物质造成固实、有质、坚硬、不可贯穿、而可活动的质点，它们的大小、形状以及其他性质与其对空间的比例，都最适合于上帝创造它们时所要达到的目的。原始的质点既属固实，就比用它们造成的有孔物体，要不可比拟的坚硬；它们坚硬到不能损坏或分割；寻常的力量不能分开上帝在最初创造时所造成的单体……我还觉得这些质点不但有一种惯性以及由此自然产生出来的被动的运动定

律，它们并且为一些主动的原理所推动，如象万有引力、发酵的原因以及物体的内聚力等。这些原理，我不看做是由物体的特殊形式得来的神秘性质，而看做是自然界里决定物体形式的普遍定律；它们所具有的真实性通过现象显现在我们面前，虽然它们的原因还没有发现。因为这些是明显的特性，它们的原因才是奥秘的。亚里斯多德派并不把明显的特性叫做奥秘的性质，而仅把他们认为隐藏在物体中、成为明显效应的未知原因的一些性质，叫做奥秘的性质；这些明显的效应有重力、磁、电的吸引原因，发酵的原因等，只要我们假定这些力或作用是由未知而且是不能发现或弄明白的原因所造成的。这样的奥秘性质阻碍了自然哲学的进步，所以近年以来被人摈弃了。告诉我们每一物种有其天赋的特殊奥秘性质，因而它才能起作用或产生可见的效果，这等于什么也没有告诉我们。但如果你能从现象中发现两三个普遍性的运动原理，然后再告诉我们一切有形体的物体的性质与作用都是由这些明显的原理中产生的，那在哲学上就是一个大进步，虽然这些原理的原因还没有发现出来。所以我毫不迟疑地提出以上所说的运动原理——因为它们的范围是很广泛的——而让别人去发现它们的原因。

171

自从牛顿时代以来，虽然经过很多人的努力，还没有人能对万有引力提出圆满的机械解释，而且从爱因斯坦的研究看来，这个问题已经转移到非欧几里得几何学的领域去了。这一事实证明牛顿的小心谨慎的真正科学精神是非常明智的。牛顿在《原理》中说："到现在为止我还不能从现象发现重力的那些性质的原因，我也不愿建立什么假说。"他仅用问题的形式，在他的《光学》书中发表了一项意见，在那里他假设行星际间有以太存在，并假设其压力离物质愈远而愈密，因而压迫物质使其互相接近。但在他对事实进行归纳研究的时候，在他从他的理论中得出数学推论的时候，猜度是没有地位的。

现在回到他比较确定的意见。他对于自然界的见解，见于《原理》的序言中①：

① 见 A.Motte 英文译本，1803年版 p.x.。

哲学的困难好象在这里——从运动的现象去研究自然界的力，再从这些力去验证其他现象；书中第一、第二卷的一般命题就致力于这个目标。在第三卷中我们阐明了世界体系，作为这方面的一个例子。因为根据第一卷里用数学证明的命题，我们在第三卷里由天象推出把物体吸向太阳和几个行星的重力。我们又从这些力，使用其他数学的命题，推演出行星、彗星、月球和海水的运动。我希望我们可以用同样的推理，从机械的原理中推演出其余一切自然现象；因为我有许多理由疑心它们可能全都取决于某些力，物体的质点就靠了这些力，由于一些迄今未知的原因，而互相吸引，粘着成有规律的形状，或互相排斥，而彼此离散；这些力既不可知，哲学家在自然界里追求，至今仍然徒劳无功；但我希望这里所阐述的一些原理能帮助说明这一点或某种比较合乎真理的哲学方法。

在这里，牛顿所指的显然是按照物质与运动，用数学方式解释一切自然现象的可能性，虽然“自然现象”一词是否包括生命和心灵现象，他没有说明。但就其他事物而论，他接受首先由伽利略阐明的机械观点，而认为这是可能的。

172 他还接受了伽利略对于第一性性质和第二性性质所作的区别：所谓第一性性质，有广延性与惯性等，是可用数学处理的，第二性性质，有色、味、声等，不过是第一性性质在大脑里所造成的感觉[1]。人的灵魂或心则应置在脑或感觉中枢里，运动由外界物体通过神经传达到这里，又由这里传达到肌肉里去[2]。

伯特教授认为这一切说明：虽然牛顿采取经验主义态度并且坚持处处都需要有实验的证明，虽然他反对把一切哲学体系当做科学的基础，并且在建立科学时摈斥不能证明的假设，但由于需要，他却暗暗地采用了一个形而上学的体系，这个体系正因为没有

① *Opticks*, 3rd ed. p.108.

② 上引书 p. 328。

明白说出，所以才对思想发生了更大的影响[①] 。

牛顿的权威丝毫不差地成为一种宇宙观的后盾。这种宇宙观认为人是一个庞大的数学体系的不相干的渺小旁观者（象一个关闭在暗室中的人那样），而这个体系的符合机械原理的有规则的运动，便构成了这个自然界。但丁与弥尔顿的富于光辉的浪漫主义情趣的宇宙，在人类想象力翱翔于时空之上时，对人类的想象力不曾有任何限制，现在却一扫而空了。空间与几何学领域变成一个东西了，时间则与数的连续变成一个东西了。从前人们认为他们所居处的世界，是一个富有色、声、香，充满了喜乐、爱、美，到处表现出有目的的和谐与创造性的理想的世界，现在这个世界却被逼到生物大脑的小小角落里去了。而真正重要的外部世界则是一个冷、硬、无色、无声的沉死世界，一个量的世界，一个服从机械规律性、可用数学计算的运动的世界。具有人类直接感知的各种特性的世界，变成仅仅是外面那个无限的机器所造成的奇特而不重要的效果。在牛顿身上，解释得很含混的、没有理由再要求人们从哲学上给予严重考虑的笛卡尔的形而上学，终于打倒了亚里斯多德主义，变成现代最主要的世界观。

无疑，这一段流利的文字真实地代表了那些不喜欢新科学观点的人们的反应。但在牛顿和他的直接弟子们看来，这是很不公平的论调。在他们眼里，牛顿赋予世界画面的惊人的秩序与和谐所给我们的美感上的满足，超过凭借任何天真的常识观点或亚里斯多德派范畴的谬误概念，或诗人们的神秘想象所见到的、万花筒式的混乱的自然界，而且这种惊人的秩序和和谐还更明白地告诉他们，全能的造物主有什么至善的活动。颜色、爱情和美丽的世界仍然在那里，可是象天国一样它存在于人的灵魂中，存在在一个受到上帝精神感召的灵魂中。这个灵魂使万物保持着庄严的繁复性，173 它所了解的万物的美比人目所看到的更多，而且它认定这个世界

① E. A. Burtt, *The Metaphysical Foundations of Modern Science*, New York, 1925, p. 236.

是非常之好。

牛顿的真正态度，在爱迪生(Joseph Addison)的有名诗句中，得到令人钦佩的表现：

高高苍天，
蓝蓝太空，
群星灿然，
宣布它们本源所在：

* * *

就算全都围绕着黑暗的天球
静肃地旋转，
那又有何妨？
就算在它们的发光的天球之间，
既找不到真正的人语，也找不到声音，
那又有何妨？

* * *

在理性的耳中，
它们发出光荣的声音，
它们永久歌唱：
“我等乃造物所生”。

事实上，只要对爱迪生的意思有丝毫的误解，就可以说他给了伯特博士一个先知的答复。

我们必须承认，牛顿的科学后来被人拿来当做机械哲学的根据，但这并不是牛顿或他的朋友的过错。他们使用了对他们来说十分自然的神学语言，尽力使人明白他们的信念：牛顿的动力学，不但没有否定，而且加强了唯灵论的实在观。如果他们明白地把笛卡尔的形而上学的二元论哲学和牛顿的科学融为一冶，也许还要安全些，因为笛卡尔的二元论哲学给心灵和灵魂明白地留下一

席之地，虽然是更狭小的一席之地。不过在他们看来，有神论是具有根本意义的东西，是不发生问题的东西，因此他们在完全接受这个新科学时是没有什么疑惧的。

用现代知识的眼光来看机械的自然观究竟具有什么意义，我们将在本书以后几章内讨论。牛顿假定，就“自然哲学的数学原理”而论，世界是由运动中的物质组成的。这个假定不过是自然界的一个方面的定义而已，动力科学觉得从这个方面去看自然界比较方便。此外还有许多方面，如物理的方面，心理的方面，审美的方面，宗教的方面等，只有把这些方面合并起来加以研究，我们才有希望得到对真实的认识。

牛顿虽然有异乎寻常的数学才能，但仍保持经验派的态度。他时常说他不制造假说，意思是指形而上学的、不能证明的假说，或根据权威而形成的理论，而且他从来不发表不能用观测或实验证明的学说。这不是因为他缺乏哲学的或神学的兴趣，其实事实恰恰相反。他是一位哲学家，也有深挚的宗教信仰；但是他觉得这些问题是从人类知识的顶点才能看到的境界，而不是人类知识的基础；它们是科学的终点，而不是科学的开始。《原理》一书，就从把已知的事实归纳起来的一些定义和运动的定律开始。以下两卷满载从这些命题推演出来的数学推论，建立了动力学和天文学两大学科。这本书第二版里，结尾处加上七页“一般注释”，包含牛顿认为在这样的著作中他应该讲的、他的物理学发现，在形而上学上的意义。这是用当时的自然神学的语言写成的。它的要义就是天意论。他说：“这最美丽的太阳、行星、彗星的系统，只能从一位智慧的与无所不能的神的计划与控制中产生出来……。”神“是永久存在，而且无所不在的，由于永久存在及无所不在，他就成为时与空”。所以在牛顿看来，绝对时间与空间是由神的永久的与无限的存在所组

174

成的。

在《光学》一书的不太系统化和不太正式的问题中，牛顿还把他的许多思辨性的意见告诉我们。“自然哲学的主要任务，是从现象出发，而不臆造假说，从结果推到原因，一直推到最初的第一因，这第一因肯定不是机械的。……从现象中不是可以看出有一位神吗？他无实体，却生活着，有智慧而无所不在。他在无限空间中，正象在他的感觉中一样，看到万物的底蕴，洞察万物，而且由于万物与他泯合无间，还能从整体上领会万物。”①

牛顿并不以为神只是造出并发动机器以后就让它自己永久动作的第一因。神在自然界是内在的；“他控制万物，知道存在着的或可以做出来的万物……既然无所不在，他在凭自己的意志移动他的无限而一致的知觉中枢范围内的物体，从而形成或改造宇宙的各部分的时候，就比我们凭我们的意志来移动身体的各部分还要容易”②。牛顿还请上帝出来用直接干涉的方法，改正太阳系175中因为彗星的作用等扰乱原因而逐渐聚集起来的不合规律的地方③。这种缺乏远见的情况在他是不常有的。在拉普拉斯指出这些原因有改正自身的倾向，并且证明太阳系具有动力学的基本稳定性之后，有人就拿这个论据来反对这个论据所要证明的结论。

本特利(Richard Bentley)——在讲道时——和克拉克(Samuel Clark)对牛顿的形而上学的观念加以发挥，但也有些曲解④。本特利断定：“万有引力是肯定存在于自然界的；它超出一切机械

① *Opticks*, Query 28.

② *Opticks*, 3rd ed. p.379.

③ *Opticks*, 3rd ed. p. 378.

④ 看 A. J. Snow, *Matter and Gravity in Newton's Physical Philosophy*, Oxford, 1926, p.190.

论和物质原因之上，而且是从一个更高的原因或神圣的能力与影响中产生出来的”，虽然它的常规是可以用机械的术语来描写的。克拉克则以为需要假定：

重力不能用物质相互的冲动的吸引力来解释，因为每一冲量都是和物体的质量成比例的。因此必有一个原质可以钻进坚实、硬固的物体之内，而且（由于超距吸引是不合理的）我们必须假定有一种非物质的灵魂，按一定的规则支配物质。这种非物质的力在物体内是普遍存在的，它无所不在，无时不在。……重力或物体的重量并不是运动的偶然效果，也不是极微妙的物质的偶然效果，它是上帝赋予一切物质的本原的、普遍的定律，而且靠了某种能够透入坚实物质的有效力量来把它保持在一切物质中。

牛顿不把重力看作是物质的根本性质，而把重力看做是只有更进一步研究其物理的原因，才可以说明的现象。但本特利与克拉克却把他对于自然界中形而上学的、终极的、最后因的信仰当作重力的直接与切近的原因，而不知牛顿正是要仔细把两者分离开来。这里我们看见有人从有神论者的立场出发误解了牛顿，正如后来又有人从无神论者的立场出发误解了牛顿一样。事实上，牛顿似乎注定要被人误解。超距作用，他本以为是不合理的，却被人当做他的基本观念，而确立这个观念也就成了他的最大功绩。这“最美丽的太阳、行星和彗星的系统”，牛顿以为只有一位仁爱的造物主才能形成，可是在十八世纪却成了机械哲学的基础，代替了古来的原子论，而成为无神的唯物主义的起点。

显然，在牛顿的时代（科学知识的第一次大综合时代），人类学术观点方面的革命，也带来了教条的宗教信仰的陈述方面的一场革命。一方面，人们再不能继续抱有亚里斯多德和托马斯哲学里包含的朴素的宇宙概念，再不能仰而观天，俯而震栗于地狱的雷声。光不再是弥漫四大、纯粹、无色的神秘物质，不再是上帝的住

176

所，而成了一个物理现象，它的规律可用反光镜和透镜来研究，它的颜色可用三棱镜来分析。另一方面，在虔信主义与神秘主义中表现出来的发于本能而不能明白解说的那种柏拉图主义，对于这种新的心理态度也不适用了。人们已经接受了一种比较合乎理性的柏拉图主义。这种柏拉图主义与上面那一种一样认为永恒的真理是靠天赋的力量或内心的启示达到的，同时也把数学或几何学的和谐看作是存在的本质。这种柏拉图主义，经过伽利略与刻卜勒的思想而成为牛顿的数学体系。它承认内在力量或启示是理性的基础，这个理论于是成了一种唯智主义。它要在宇宙的物理秩序及道德定律中寻找神的自然真理。“这样就出现一种严肃的唯理论，与‘热情’一词所代表的一切浪漫主义形式的宗教相对立。宗教信仰的寄身之所由心转移到头脑中，神秘主义被数学所驱逐……这样就为最后也许能够代替传统信仰的开明的基督教”，以及康德所追寻的“理性范围内的宗教”① ，开辟了道路。



牛顿在保卫剑桥大学，抵抗詹姆斯二世对剑桥大学的独立的干涉方面起了相当大的作用。他被选入解决王位继承问题的自由议会，1701年再度当选。

1693年，他害了神经分裂症。他遵从朋友的劝告，离开了剑桥大学。他们推荐他去当造币局的监督，不久升任局长。他放弃了他对化学与炼金术的研究，把这方面的著作锁藏箱内。

迁居伦敦后，他的生活就完全不同了。他在科学上的成就为他赢得一个崇高的地位，从1703年起一直到他去世时为止，他担任皇

① G. S. Brett, *Sir Isaac Newton*, Baltimore, 1928, p.269.

家学会的会长达二十四年之久。由于他的能力与名誉，他为皇家学会赢得很大的威信。虽然他早年常有心神游移的症状，但他在造币局的工作表现出他是一位能干而有效率的公务员，不过他对批评与反对，常有不能忍受的紧张情绪。 177

他的甥女嘉泰琳·巴顿 (Catherine Barton) 是一个机智而貌美的妇人，为他管理家务。这是他一生的第二个时期。十八世纪里流传的关于牛顿的传说，都是讲这个时期的事。嘉泰琳嫁给康杜特 (John Conduitt)；他们的独生女嫁给利明顿 (Lymington) 子爵。利明顿的儿子承继了朴次茅斯伯爵的爵位。因而牛顿的财产为瓦洛普(Wallop)家族所继承。1872年第五代朴次茅斯爵士把牛顿一部分科学文件赠给剑桥大学图书馆。后来牛顿的另外一些书籍与论文也拿出来出售了。凯恩斯 (Lord Keynes) 爵士购得一部分论文，书籍则为旅客信托社(Pilgrim Trust)所购得，并于1943年赠给三一学院。

第五章　十八世纪

178　数学与天文学——化学——植物学、动物学与生理学——地理发现——从洛克到康德——决定论与唯物主义

数学与天文学

不幸牛顿与莱布尼茨各自发明微分学以后，符号既不相同，又在发明先后问题上发生争执，因此事情就复杂化了。由于这些原因中的一个或两个原因，英国数学家与大陆数学家就分道扬镳了。前者用了牛顿的符号，但大半疏忽了他的新分析方法，而遵循牛顿常用以记载他的研究结果的几何学方法。因此，英国学派对于十八世纪前半期新微积分学的发展很少贡献，但在大陆上，特别是在詹姆斯·别尔努利(James Bernouilli)的手里，微积分学却得到发展。牛顿体系中的一个空白，后来由于在实验中测定了地面重力和万有引力常数而填补起来；1775年左右，马斯基林(Maskelyne)观测了铅垂线在山的两面的偏离，1798年卡文迪什(Henry Cavendish)用米歇尔(Michell)设计的精细扭摆，观测了两个重球之间的引力。1895年，波艾斯(Boys)又使用这个方法，求得两个各为1克的质点，相距1厘米时，其互相吸引的力为6.6576×10^{-8}达因，由此算出地球的密度是水的5.5270倍。

牛顿的工作成果由莫佩屠斯(Maupertuis)等人的著作介绍到法国去，更由达兰贝尔(d' Alembert)、克勒洛(Clairault)与欧勒

(Euler) 加以发展。伏尔泰 (Voltaire) 于1726至1729年间侨居英国[1]，他后来和夏特勒 (Châtelet) 夫人合作，发表了一本讨论牛顿体系的通俗著作，鼓舞了有名的法国《百科全书》的许多作者。

这部内容参差不一的巨著的第一版在1751至1780年间，经过许多困难，以三十五巨册刊布于世。狄德罗(Diderot)是总编辑，在头几年达兰贝尔担任数学的编纂。这部书总结了当时的科学思想。它的总的精神以有神论为主，但带有异端色彩，而且愈来愈倾向于攻击政府和罗马教会，最后乃至攻击基督教本身。 179

在数学与其应用上，泰勒(Taylor，1715年) 与马克洛林 (Maclaurin, 1698—1746 年) 证明怎样展开某些级数，并应用到振荡弦的理论和天文学上去。布莱德雷 (Bradley) 根据恒星光行差的观测结果，求得光线传播的速度 (1729年；参看399页)。欧勒(1707—1783年) 创立了分析数学的新分支，修订并改进了数学的许多分支，而且发表了几部关于光学和自然哲学的一般原理的著作。

拉格朗日(Joseph Louis Lagrange, 1736—1813年)也许是十八世纪最大的数学家。他主要的兴趣在纯理论方面。他创立了变分学，并且把微分方程式问题系统化了。他的包罗万象的概括结论，常可应用到物理学问题上去。他自己出版了天文著作，提出了三体的相互吸引力的计算这一困难问题的处理方法。在他的巨著《分析力学》里，他通过虚速度和最小作用原理把全部力学建立在能量不灭的原理之上。

达·芬奇曾经利用虚速度(或虚工作)的原理推出杠杆的定律，史特芬给这一原理所下的定义是："得于力者失于速"。莫佩屠

---

[1] M. S. Libby, *Voltaire and the Sciences*, New York, 1935; Merton, *Isis*, No. 33, 1936, p. 442.

斯把空间(或长度)和速度的乘积的总和叫做"作用"，并且为了形而上学的理由，假定在光的传播这样的过程中，必定有某种东西是个最小量。他指出事实竟与光循最小作用的路径传播的假定一致。拉格朗日把这个原理推广到一切物体的运动上去，而把"作用"定义为运动量的空间积分，或动能的时间积分的两倍。在哈密顿的方程式和普兰克的量子理论中，我们将要再遇见这个作用量。

拉格朗日的微分方程式赋予这个学科以新的普遍性和完备性。这些方程式把力学的理论简化成普遍的公式，解决每个问题的特殊方程式，都可从这些公式推导出来①。

拉普拉斯(Pierre Simon de Laplace, 1749—1827年)对于牛顿体系的贡献比拉格朗日更多；他是一个诺曼底乡下老的儿子，靠了他自己的能力和善于随机应变的才能，后来竟成了王政复辟时代的侯爵。

180

拉普拉斯修改了拉格朗日的位函数的方法②，改进了引力问题的处理。他在一个很重要的方面完成了牛顿的工作，因为他证

① 根据牛顿运动第二律，质点的动量的变率等于外加的力。应用这定律于互相正交的三坐标x, y, z上，即得$m\ddot{x}=X$, $m\ddot{y}=Y$, $m\ddot{z}=Z$，式内m为质量，X, Y, Z为作用于质点上的力的三分量。从这些算式，拉格朗日得到运动的普遍公式有如以下的形式：

$$\frac{d}{dt}\frac{dL}{d\dot{q}}-\frac{dL}{dq}=Q,$$

式内L是拉格朗日函数，代表体系中动能与位能的差，t代表时间，Q代表作用于体系之上、因而往往使任何坐标q都有所增加的外力。

② 要说明"位"在物理学上的意义，我们可以这样说：任何方向上位的减少率，可以量度在那个方向上施于某单位的力，这单位可以是质量、电量或任何量。拉普拉斯证明位V总是能满足以下的微分方程式：

$$\nabla^2V=\frac{\partial^2V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2V}{\partial y^2}+\frac{\partial^2V}{\partial z^2}=0。$$

∇^2V可以叫做V的局部强度。珀松(Poisson)于1813年得出一个更一般的形式：$\nabla^2V=-4\pi\rho$，这关系出现于数学物理的各部门之中，鲍尔(Rouse Ball)说："它以分析方法表现了一个普遍的自然定律，这定律还不能用言语表达出来。"

明了行星的运动是稳定的，行星之间的相互影响和彗星等外来物体所造成的摄动，只是暂时的现象。这样，他就证明牛顿担心太阳系久而久之会由于自身的作用而陷于紊乱，是没有根据的。

1796年，拉普拉斯发表了《宇宙体系论》，内容有天文学史，牛顿体系的一般叙述及星云假说；按照这个假说，太阳系是从一堆旋转着的白热气体演化而来的。1755年，康德已经提出这个看法。他比拉普拉斯更进一步，认为有从虚无中创造出来，星云从原始的混沌中成形。现代的研究说明星云假说对于太阳和行星的比较小的结构不很适合，但对于在旋涡星云的形成过程和银河系发展的晚期阶段中可以看到的较大的恒星集团，也许是适用的。

拉普拉斯的分析性的讨论见于他的主要著作《天体力学》(1799—1805年)[①]里。他用微分学诠释了牛顿的《原理》的内容，并且补充了许多细节。

鲍尔叙述拉普拉斯把他的书呈献于拿破仑的情形如下： 181

有人告诉拿破仑说，那本书没有提到上帝的名子。拿破仑是喜欢拿话来难人的，他收到那本书时说："拉普拉斯先生，有人告诉我，你写了这部讨论宇宙体系的大著作，但从不提到它的创造者"。拉普拉斯虽是最圆滑的政客，但在他的哲学的每一点上，却有殉道者坚强不屈的气概，于是他挺直了身子，率直地答道："我用不着那样的假设"。拿破仑觉得那个回答很有趣，把这个回答告诉了拉格朗日。拉格朗日说道："那是一个美妙的假设，它可以解释很多东西"。

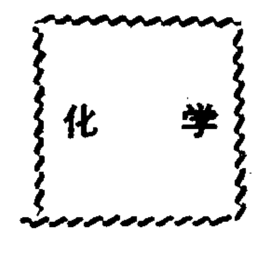
拉普拉斯总结了当时有关概率论的研究成果，并且假定有一种只有在微小距离才能感觉到的吸引力，以解释毛细现象。他还说明为什么按照牛顿的公式，用密度除弹性的平方根所得的、声音在空气中的速度值太小。他发现这种不符的原因在于热。因为音

① 还有历史叙述的一册，出版于1825年。

波一紧一松时，要发出与吸收热，这样就使空气的弹性增加，因而增加了声音的速度。

此后引力天文学的工作，不外完成牛顿和拉普拉斯的工作。牛顿引力假说的正确性在1846年由于有人预测有一个未知行星存在而受到最后的考验。这是把牛顿和拉普拉斯方法颠倒过来加以运用。天王星脱离自己轨道的摄动，无法用已知其他行星的作用，给予充分解释，要说明这些不规律的摄动，便须假设有一个新行星存在。这个行星的必然的位置由剑桥的亚当斯 (J. C. Adams) 与法国的数学家列维烈(Leverrier)各不相谋地计算出来。柏林的天文学家加勒 (Galle) 依照列维烈所指的方位，用望远镜去寻找，果然发现一颗行星，而命名为海王星。

牛顿理论的精确性实在令人惊异。两个世纪中一切可以想到的不符的情况都解决了，而且根据这个理论，好几代的天文学家都可以解释和预测天文现象。就是现在，我们也须用尽一切实验方法，才能发现牛顿的重力定律和现今天文知识有些微的不符。拉格朗日把《原理》誉为人类心灵的最高产物，而且说牛顿不但是历史上最大的天才，也是最幸运的一位天才："因为宇宙只有一个，而在世界历史上也只有一个人能做它的定律的解释者"。从现今我们132所知道的自然界的极端复杂性来看，我们现在来评价牛顿时，就不会这样说。但这很可以说明牛顿的工作在后来的一个世纪中对于最能领会它的一位科学家产生了多大的影响。



十八世纪初，有许多心灵手巧的观察者把实验化学推向前进。荷柏格(W. Homberg) 研究了碱和酸在各种比例下的化合，因此为酸与碱化合而成盐的理论提供了有力的证据。这理论创始于

西耳维斯，实在是现代人关于化学结构的许多观念的起点，在科学史上是有重要地位的。

此后三十年中，以莱登的波尔哈夫 (H. Boerhaave) 和黑尔斯 (S. Hales)的工作为最出色。波尔哈夫于1732年发表了“当时最完备、最光辉的化学论著”①；黑尔斯研究了许多气体，如氢、碳的两种氧化物，二氧化硫、沼气等。他认为这些气体都是因为有其他物体存在以不同方式发生改变或者说“受到熏染”的空气。

早期化学家的最大困难，是了解火焰和燃烧的现象。物体燃烧时，好象有某种东西逃走掉了。在长时期中大家认为这种东西是硫，普鲁士王的御医斯塔耳(G. E. Stahl, 1660—1734年)把它叫做“燃素”，意即火的原素。他的学说是从柏克尔(Becher)的见解发展而来的。在他死后，这个理论被人广泛采纳，在十八世纪末叶，一直支配着化学界的思想。雷(Rey)与波义耳都证明过金属燃烧后固体物重量增加，所以“燃素”必须具有负重量，于是亚里斯多德关于一个物体本质上是轻的观念又重新复活起来。当时化学家不顾物理学的成就，以这个假说去说明化学事实。由于这个假说和更老的学说的影响，虽然有个别研究结果可以据以得出比较现代的看法，但这些研究结果对于当时的化学家的思想却没有什么影响；这些事实还有待重新发现、重新解释。

第三章内已经说过，在氧被发现以前一个世纪，已经有人证明空气中有一种活跃的成分，而且是呼吸与燃烧所不可缺少的。1678年，博尔奇(Borch)从硝石中制出氧气，1729年，黑尔斯用水上收集法又得到这种气体。1640年，范·赫耳蒙特取得了二氧化碳并命名为“西耳韦斯特 (silvestre) 气”；氢气的分离，甚至可追溯到帕腊塞 183

① Sir Ed. Thorpe, *History of Chemistry*, vol. I, London, 1921, p. 67.

耳苏斯(Paracelsus)。他描写过铁屑在醋上的作用。不过这些观察结果都被忘记了，它们的意义也被人忽略了；当时人们仍然认为空气是唯一的气体元素。

十八世纪化学工业开始推动这门学科。1755年，爱丁堡的布莱克(Joseph Black)发现一种新的有重量的气体，它与空气不同，是与碱类结合在一起的。他把这气体叫做“固定下来的空气”。这就是现在我们叫做二氧化碳或碳酸的东西。1774年，舍勒(Scheele)发现了氯气。普利斯特勒(Joseph Priestley, 1733—1804年)加热于氧化汞，制出氧气，并且发现它有维持燃烧的独特性能。他根据前人的研究成果(121页)，还证明氧是动物呼吸必需的气体。可是他认为这气体是去掉燃素的空气，竟不知道他的发现已经在化学史上揭开了新的一页。1781年，卡文迪什(Henry Cavendish, 1731—1810年)证明了水的复合性(发表于1784年)，这样就把水从元素之一的崇高宝座推下来。但是他描述组成水的气体时，仍沿用“燃素”与“去掉燃素的空气”等名词。1783年，瓦特(James Watt)发表了同样的意见，因而引起评论者关于发现先后的争论。

当时流行的见解认为水沸腾后成土。拉瓦锡(Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794年)指出，这种见解是错误的。他证明水沸后剩余的渣滓是容器(玻璃之类)的溶解物，水经过多次蒸馏后，是纯洁而有不变的密度的。由于“共和国不需要学者”①，拉瓦锡后来和许多包税人一起走上断头台。

拉瓦锡重做了普利斯特列和卡文迪什的实验，精确地秤量了

① 拉瓦锡在政治上是十分反动的，1789年法国大革命中，他以法国科学院负责人的身分，与反动统治者一起，进行了镇压革命的活动，因此最后为革命的人民把他送上了断头台。据说，1794年5月初，在革命法庭宣判拉瓦锡及包税人等二十八人死刑时，拉瓦锡请求给他以足够的时间去完成他正在进行的关于汗的实验，当时的法庭副庭长科芬纳尔(Coffinhal, 1754—1794年)就回答了这样一句话。——译注

他的试剂和产物。例如在一个实验中，他让4英两的汞与50立方英寸的空气相接触，热到快要达到沸点的温度。红色汞灰出现并继续增加，一直到第十二天。汞灰的重量为45格令（grain 英厘），剩余空气的体积为42至43立方英寸即原来体积的5/6。这剩余的空气不能再维持燃烧，小动物在里面几分钟就死去。

再将这45英厘的红色汞灰放在小曲颈甑加以强热。41$\frac{1}{2}$英厘的金属汞和一种气体出现。把气体由水面收集起来，加以量度，体积为7到8立方英寸，重为3$\frac{1}{2}$到4英厘。但41$\frac{1}{2}$+3$\frac{1}{2}$=45英厘，全部原物质都有下落——总质量是不变的。这气体维持火焰与生命比普通空气更有力量。拉瓦锡说：

184

从这个实验的各种情况看来，汞在锻烧的时候，吸收了空气中适于养生和呼吸的成分，余下来的部分是有毒的，不能维持燃烧和呼吸。可见空气是由性质不同的、甚至可以说是性质相反的两种富于弹性的流体组成的。

拉瓦锡抓住了一个极端重要的事实：要解释这个和其他许多类似的实验以及普利斯特列和卡文迪什的实验，并不需要燃素说，臆造一种与其他物质在性质上根本不同的物体，是不必要的。牛顿的力学建立在质量不变的假设上，这假设由于他的成功而证明不误。他还证明质量和重量虽然是两个不同的概念，但在实验中加以比较时，它们是精确地成比例的。拉瓦锡用经过称量的不可反驳的证据，证明物质虽然在一系列化学反应中改变状态，物质的量在每一反应之终与每一反应之始却是相同的，这个可以从重量上寻找出来。水的组成成分已经证明是两种气体，它们具有物质通常的性质：质量和重量；拉瓦锡把它们叫做氢（成水的元素）和氧（成酸的元素）①。燃烧与呼吸终于被证明为同类的作用，

① 这两个名字都叫错了：氢存在于水以外许多化合物之内，而且还有无氧的酸；例如1808年戴维从盐酸里，只取出氢和氯两种元素。

两者同是氧化，区别只在急速与缓慢，结果都增加重量，这个重量等于化合的氧气的重量。具负重量的燃素的概念从此就从科学中消逝了。伽利略和牛顿在力学里所建立的原则，便转移到化学中来了。

植物学、动物学与生理学

我们在前章谈到约翰·雷的工作，现在我们需要从那里再来叙述生物学的历史。约翰·雷似乎是从荣格(Jung)的研究成果中得到他所用的一部分术语的，这些术语又由他传给林耐(Carl von Linné, 1707—1778年)。这位瑞典的牧师的儿子，根据植物的生殖器官创立了他的驰名的分类体系。这个分类法保持多年，直到后来才被现代分类法所代替。现代分类法按照进化论重新回到约185 翰·雷的见解那里，并且考虑到器官的一切特点，力求把植物分别归入可以表现植物的自然关系的门类中去。

植物的有系统的双名命名制是博欣(Bauhin)与土尔恩福尔(Tournefort)首先创立的更为林耐加以发展。林耐为了采集北极植物，在拉普兰人中间游历的时候，看到人种显著的差别，大为惊异，于是注意到人的种的差别。在他的《自然系统》中，他把人与猿猴、狐猴、蝙蝠同放在"灵长目"中，又按照皮肤的颜色与其他特点，把人分为四类。

旅行家所得的资料以及皇家动物园所收罗的珍禽奇兽，推动了动物知识的相应发展。布丰(Buffon, 1707—1788年)的百科全书式的巨著《动物自然史》的出版，标志着现代动物科学第一阶段的结束。在这里，又是显微镜的应用使人们第一次窥见了生物器官的细微结构和功能，证明有无数微生物存在，有些是动物，有些是植物，都是以前所意想不到的。布丰虽然认为林耐的分类法是

“屈辱人类的真理”，但他对于说明动物之间的关系的证据不能熟视无睹。他大胆地说过：“如果圣经没有明白宣示的话，我们可能要去为马与驴、人与猿找寻一个共同的祖宗”，但是他后来又取消了这句话。

在古代和中世纪，人们相信生物是可以从死物质中自发地产生出来的。例如蛙也许是在日光照射下从泥土中产生出来的，新大陆发见之后，因为难以把美洲土人的起源追溯到亚当，也有人说他们和蛙有一样的起源。第一个对于自然发生说表示怀疑的人似乎是雷迪(F. Redi, 1626—1679年)。他证明如果不让死动物的肉与虫类接触，就不会有蛆虫产生。雷迪的实验，被认为和圣经的教导抵触，因而受到抨击；这件事和十九世纪施旺(Schwann)与巴斯德(Pasteur)的研究成果所引起的一场争论合并来看，是非常有趣的。在那场争论中，两边的领唱人对调了地位。福格特(Vogt)、海克尔(Haeckel)与其他唯物主义者维护自然发生说，认为这是对生命来源的最自然的解释，而正统神学家则欢迎相反的结论，认为这种结论证明生命只有经过神力才能出现。就是在目前，还有人非难企图证明自然发生说的学说，说这种学说建立在生命可以不 186 经直接创造而发生的假定上。看来要某些人接受事实而又不联想到他们认为这些事实具有的意义，是很困难的。现在我们再回头来谈十八世纪的情况。斯帕朗扎尼(Abbé Spallanzani, 1729—1799年)长老把雷迪的实验重做了一遍，证实了这些实验，并且证明煎液经大火煎熬之后不和空气接触，任何微小的生命也不会出现。这可以说是巴斯德和现代微生物学的先驱。

我们在第三章中讲动物生理学时谈到西耳维斯抛弃了范·赫耳蒙特的唯灵论观念，即认为人体内有一种有感觉的灵魂，它通过“生基”支配一些发酵物。西耳维斯还企图用一种“沸腾现象”来说

明消化、呼吸和人体的其他功能。这种“沸腾现象”同把硫酸倾注于铁屑，或把灰渣长久暴露于空气中时所发生的情况相似。

现在钟摆又摆回来了[①]。斯塔耳把他研究化学时所采用的心理观点带到生理学中来了。他认为生物体中的一切变化，虽然表面上与普通的化学变化相似，根本上却不一样，因为生物体中的变化直接为弥漫于体内的一个“有感觉的灵魂”所支配。

斯塔耳的“有感觉的灵魂”与范·赫耳蒙特所说的不同，它不需要什么中间媒介，如“生基”或发酵物之类。它直接控制着身体内的化学过程与其他过程。它和笛卡尔哲学的“理性灵魂”完全不同。根据笛卡尔的严格二元论，人体离开了灵魂，就是一付机器，为一般机械定律所支配。在斯塔耳看来，人体不是为一般物理和化学定律所支配的；当它活着时，它在一切细节上都在一个远远超过物理学和化学的水平上为一个有感觉的灵魂所管理。活着的身体适合于特殊的用途，即作为灵魂的真正的和连续的灵魂使肉体强固起来，并把它用于生存的目的。照斯塔耳的意见，灵魂与身体之间的桥梁在于运动；身体各种结构、感觉及其伴随物的保存和修复，都是有感觉的灵魂所指导的运动方式。所以，斯塔耳可以说是现代活力论的创始人，虽然他的“有感觉的灵魂”，后来变为意义更模糊的“活力质”。

187

与此同时，那些不跟着斯塔耳走的人，则分为机械学派与偏重化学发酵的学派。波尔哈夫在其《医学组织》(1708)一书里，把这两个学派的观点合而为一，虽然他主张消化的性质是近于溶解而不近于发酵。辛格(Singer)博士说，就他的能力的广大范围来看，

① Sir M. Foster, *History of Physiology*, Cambridge, 1901.

波尔哈夫实在是近代最大的医学家①。

在这个世纪后半期，人们，特别是德·列奥弥尔(de Réaumur)与斯帕郎扎尼用鸢、狗和其他动物进行实验，对消化有了新的认识。血压最初是黑尔斯在马身上量得的②。他还测量过树液的压力。

福斯特(Michael Foster)爵士以为1757年是"现代生理学和过去的分界线"，因为在那年，哈勒(Albrecht von Haller, 1708—1777年)的《生理学纲要》第一卷出版了③。这部书的最后一册即第八卷，到1765年才出版。哈勒在这部书里对于当时关于身体各部分的生理知识，作了系统而坦率的叙述。他自己对于研究呼吸的机制，胚胎的发育以及肌肉的易受刺激性，都有重要贡献。

他认识到肌肉固有一种力量，在身体死后还能活很短的时间。但在通常情况下，肌肉是在由大脑通过神经传到肌肉的另一种力量的召唤下发生作用的。他说实验证明只有神经才有感觉；所以它们是唯一的感觉工具，正象靠了它们对肌肉的作用，它们又是唯一的运动工具一样。一切神经都聚集到大脑中部的脑髓，由此我们可以推想"大脑中部是有感觉的，而末稍的神经传到大脑的印像，也在大脑中部呈现于心灵"。这可从病理现象和动物实验得到证实。他在进而"揣测"的时候表示，神经液是"一种独特的原素"，神经是容纳这种原素的空管，而且因为感觉与运动都发源于脑髓，脑髓即是灵魂的住处。

---

① C. Singer, *A Short History of Medicine*, Oxford, 1928, p. 140.

② *Stephen Hales* by A. E. Clark-Kennedy, Cambridge, 1929.

③ Foster 上引书 p. 204.

地理发现

当天文学正在揭示天体的运动，生理学正在摸索人体机构的秘密的时候，地理上的发现也增长了人们关于地球表面的知识。航海的技术大大进步了。十六世纪，史特芬发明了十进法的算术，1614年，耐普尔(Napier)创立了对数的计算方法，1622年，乌特雷德(Oughtred)制出了计算尺。当月球在恒星间的位置可以用牛顿的月离理论加以预测的时候，经度的量度就成为可能了，因而在两个地方看见同一天文现象的地方时间也可以求得了。不过，直到1762—1763年，哈里逊(John Harrison)利用两种金属的不同膨胀率，补偿了温度的变化所造成的影响，从而改进了航海时计的时候，经度测量才变得容易而且精确。这个工作完成以后，每只船上都可以有格林威治时间，拿它来和天文现象比较，便可得到经度。

十七、十八世纪中，人们开始对地球进行有系统的探索。这一时期的探险家的航行不象十五、十六世纪的拓荒者，即首先揭示了我们现在知道的地球面貌的拓荒者的探险那样具有充分的浪漫色彩①，但这些后期的航海者的工作也有其值得注意的特点，那就是科学研究精神的增长，这对于学术观点的全面变化有很大贡献。法国百科全书就表现出了这种学术观点的全面变化。

在这些探险家中，我因为私人的关系，不能不提到一个人。他就是威廉·丹皮尔(William Dampier, 1651—1715年)。他是那些最早表现出新的精神状态的人士之一。他的锐敏的观察力注意到每一种新树木或植物，他的轻巧的文字又能正确地描绘它们的形状与颜色。他的《风论》成了气象学的经典著作。他对水文学与地

① W. Olmsted, *Isis*, 94, p. 117(1942).

磁学也有相当贡献[①]。

丹皮尔是以海盗身分开始自己的冒险事业的，在他的著作使他成名以前，他在社会上不能不自己走自己的道路。七十年后，科学界对探险的兴趣增加了，探险家的地位也随之而增高。发表过日食论文的库克(James Cook, 1728—1779年)船长，被皇家学会派遣到南太平洋塔希提岛去观测金星凌日现象。他怀着寻找南极洲的希望多次出航探险。他虽然没有达到他的目的，但得到不少有科学价值的知识，例如坏血病的起因与治疗方法，澳洲、新西兰与太平洋的地理等。

189

在英国，丹皮尔关于《航行》的书籍，引出了不少文学的作品，如笛福(Defoe)的《鲁滨逊飘流记》，斯威夫特(Swift)的《格列佛游记》之类。丹皮尔、卡伯特(Cabot)、博迪埃(Baudier)、夏尔丹(Chardin)、伯尼埃(Bernier)等人的航行，对于大革命以前法国一般的学术发展有很大贡献[②]。有些对法国王朝统治下的社会感到不满，而想加以批评的人，写了不少书籍，来歌诵远方荒岛上的乌托邦。从探险家的实际观察与错误结论以及小说家的想象中产生了对于“远洋共和国”，“好的野蛮人”与“中国圣人”的崇拜。自然神论者及反基督教的人们对佛教、孔教、或其他异教加以赞美，并且利用它们来攻击罗马教会。

这些文学作品对于一般人的影响，大概比哲学家和科学家的著作还大，这也许可以说明为什么十八世纪那样容易接受卢梭

① *Dampier's Voyages*, London, 1699, 1715, 1906; Clennell Wilkinson, *Life of William Dampier, London*, 1929; *Journal Royal Geographical Society*, Nov. 1929, 74, p. 478.

② W. H. Bonner, *Captain William Dampier and English Travel Literature*, Stanford, California and Oxford, 1934; Geoffroy Atkinson, *Les Relations des Voyages du* 18 *Siècle et l'Évolution des Idées*, Paris, 1925.

(Rousseau) 与伏尔泰的观点——一些与一百年前帕斯卡尔和博絮埃 (Bossuet) 的观点大不相同的观点。有关原始生活的美丽描写，助长了许多谬误的理论，如社会契约论，进步的必然性，人类臻于完善的可能性等等，也助长了许多愚蠢行为，如理性的革命统治等等。历史和人类学对这样的错误作了最好的纠正。据我们看，人类的进步不是根据貌似公正的前提靠先验的推理实现的，而是在充满尝试和错误的崎岖颠踬的过程中取得的。

在浪漫派文学中，“高尚的野蛮人”① 的观念和古人的“黄金时代”成为同义语，塔西陀就用它来描写日耳曼人。在现代，哥仑布把这个观念复活过来，蒙台涅 (Montaigne) 又把它加以充分发展。在英语中，首先使用“高尚的野蛮人”一语的大约是德赖登(Dryden)，但在英国的浪漫主义时期中(起于1730年，到1790年达到最高峰)，这个观念相当流行。毫无疑问，圣经上的伊甸园对于形成文明生活比原始生活更加腐败的看法也有很大影响。

从洛克到康德

要总结十八世纪的科学思想，我们不但需要考虑大物理学家、大化学家和大生物学家的工作，而且需要考虑某些主要是哲学家的著作家的工作。

190 哲学家约翰·洛克(John Locke, 1632—1704年)，虽然一生大半时间都在十七世纪渡过，但在精神上却属于后一时期。他做过医生。1669年他对经院派在医学上的主张进行过反驳，主张诉诸经验，并举出他的朋友西德纳姆(Sydenham) 所用的方法作为例证。西德纳姆曾经科学地观察过疾病并研究过传染病。洛克本人为一

① H.N. Fairchild, *The Noble Savage*, Columbia Press and London, 1928.

位舍夫茨别利（Shaftesbury）勋爵做过手术，并为另一位舍夫茨别利接过生。但他的主要贡献应当说是他的哲学著作《人类理解论》(1690)。

在政治和哲学思想上，与霍布斯的哲学极端主义及政治上的专制主义相比，洛克代表着一种和缓的、理性的自由主义。洛克对于事实，抱着英国人的健全的敬重态度，而对于先验的抽象推理，则表示憎恶。他研究了人类可能的知识的限度，反对认为有任何知识可以脱离理性批判的看法。虽然有些知识在受过教育的理性看来是自明的，但观念却不是天赋的。还有一些知识必须依靠理性的证明才能得到。人类的一切思想都由经验而来，有的是对外界事物的经验(感觉)，有的是对心灵活动的知觉经验(反省)。

根据对于儿童和愚人心理的研究，洛克推论说感官先向我们提示了一些原始观念，如象广延、运动、声音、颜色等。接着而来的是对它们之间的相同点的联想，这种联想就引出抽象的观念。我们对物体所知的只不过是它们的属性，而且我们所以能知道它们的属性也完全是靠了触觉、视觉、听觉等感官印象。只有从这些时常表现出具有不变的关系的属性中，我们才能对变化不定的现象下面存在的一种物质形成复杂的观念。就是情感与情绪，也是从感觉的结合与重复中产生出来的。

当我们开始用词把这样形成的抽象观念固定下来的时候，我们就有发生错误的危险。词不应看做是事物的准确图画；它们不过是某些观念的任意规定的符号而已，不过是凭借历史偶然性选择的符号而已，随时都有改变的可能。在这里，洛克由悟性批判进入语言的批判，这是一个极有价值的新观念。

洛克首创现代的内省心理学。别的哲学家也向内看，但他们都是在匆促地内省一下以后，就去发挥他们的武断见解了。洛克却

安静地、不断地注视着他自己心灵的活动,正如注视他的病人的征候一样。他得到的结论是:知识也就是觉察到我们的思想彼此之间或我们的思想与外界现象之间符合还是不符合。人都晓得他自己是存在的,既然他有了一个开端,要解释这个开端,就必须有一个第一因,这就是最高理智的神。但只有根据具体事例进行归纳,才能确定我们的思想与外界事物的关系。所以对于自然界的认识只是一个或然的事情,很容易因为发现新事实而被推翻。

191

阿奎那过去根据中世纪的神学与亚里斯多德的哲学进行了一次知识的综合。洛克以英国人特有的实用感,加上在历史关键时期形成的看待生活与思想的广阔眼界,论述了《基督教的合理性》,企图在可靠的经验基础上,建立一种合理的宗教与一种合理的科学。两人都试着进行了综合。但阿奎那的体系的各组成成分都具有刻板性和绝对的性质;洛克的体系则包含有不断适应学术发展的各种需要的可能性,并且主张容忍各种宗教意见。这一主张在每一派别都认为自己是绝对真理的唯一代表的时代里,大可证明洛克的创见。

在某种程度上,他的哲学补充了牛顿的科学,这两者合起来对爱尔兰克罗因(Cloyne)地区主教贝克莱(George Berkeley,1684—1753年)的思想产生了显著的影响。

贝克莱认识到机械的和唯物主义的哲学对一门研究运动中的物质的科学的危险性(这是连牛顿自己也没有认识到的),因此,他选择了一条勇敢的道路。他承认新的知识和新的知识所描绘的世界情景是真实的,但是他实际上又提出这样的问题:"这种真实的知识所说的世界究竟是什么呢?"他指出唯一可能的答案是,这就是感官向我们揭示的世界,而且也只有我们的感官才能使这个世界成为实在的。因此所谓第一性的质,如广延性、形状与运动等,

不过是存于心中的观念，它们同第二性的质一样，不可能存在在没有知觉的物质中①。弗雷塞(Campbell Fraser)在1901年出版的《贝克莱全集》序文中这样说：

> 整个物质世界，在它可以同人们的认识和行为发生任何实际关系的范围内，只有当它在某种活的心灵的知觉经验中以同样方式得到实现的时候，才是实在的。……只要你去想象一下一个永远没有上帝和一切有限的精灵的、永恒死寂的世界，你就会觉得这是无法想象的。……这并不是否认每天呈现在我们感官面前的世界，……我们所经验的唯一物质世界是由现象组成的。这些现象在一串可以解释的符号依次出现的被动过程中，作为实在的对象而不断地产生。每一个有限的人就通过这些符号，实现自己的个人人格；实现其他有限的人的存在，并实现在自然科学中多多少少得到解释的感官符号象征作用，这一切都意味着神的存在。……神是必然存在的，因为物质世界要成为一个实在世界，就需要由一位活着的上帝来不断地加以实现和节制。

这些话在平常的人看来，好象是否认物质的存在。从自以为踢下一块石头就把贝克莱驳倒了的约翰逊(Samuel Johnson)的时代起，直到近来的一位创作五行打油诗(Limericks)的作家的时代为止，这种见解引起了无穷无尽的批评，有的是博学多才人士的批评，也有的是不学无术的人的批评。但一件事似乎是真实的：**我们所知的世界**，只是靠了感官才变成是实在的；我们无法知道（虽然我们可以推测）一个也许存在，也许不存在在我们所知的世界之内的假想的实在世界。不过这也许并不是贝克莱对自己的哲学的解释。

贝克莱并不象人们有时所说的那样，否认感官的证据。相反地，他把自己局限于感官的证据。洛克以为相信现象后面存在着

① Berkeley's *Complete Works*, vol. 1, p.262.

一个实在的物质世界，是根据我们对物质性质的知识得出的合理的推论，虽然我们不能知道它的最后性质。贝克莱否认那个未知世界的实在性。他认为实在只存在于思想世界里。

休谟(David Hume,1711—1776年)对于认识的可能性采取了更加怀疑的态度。他利用贝克莱的论据，对心和物的实在性一并加以否认。贝克莱摈斥了科学家为了解释物质现象而想出来的神秘基础；休谟把哲学家为了解释心灵现象而发明出来的神秘基础也一扫而空。只有一连串"印象与观念"才是实在的。

休谟重新掀起了关于因果性的无止无休的争论。在他看来，我们所以认为一件事是另一件事的原因，是由于两件事的观念的联想关系所致，这种联想是由一件事在另一件事之前的一长串事件唤起的。这只不过是经验问题而已；在自然界里，事件是连接着的，但我们不能推断它们有因果的关系。休谟向那些公然宣布要用归纳方法从经验事实中证明普遍原则的经验派指出，他们由于只诉诸感官经验，也就不可能越过习惯所养成的预期，而用归纳方法推出普遍性的定律来。这样休谟就断定因果性原则只是本能的信念："自然规定我们去判断，正如规定我们呼吸与感觉一样。"

193　休谟认为，因果律既非自明之理，也不能用逻辑证明。康德(Immanuel Kant,1724—1804年)完全接受这个论点[1]。他还认识到作为科学和哲学基础的一切其他原则都是这样的。只有先接受一些独立地得到证明的理性原则，才有可能凭借经验资料用归纳方法证明普遍原则，所以我们不能希望用经验去证明普遍原则。我们要么得接受休谟的怀疑论的结论，要么就得去寻找唯理论和经

① N.Kemp Smith,A Commentary to Kant's"Critique of Pure Reason",London,1918.

验论证明方法的缺点的某种衡量标准。“怎样才可能有综合性的先验的判断呢？”

莱布尼茨同休谟一样，否认用经验方法证明普遍原则的可能性，但他承认普遍原则的存在，得出一个相反的结论：纯粹理性高于感官知觉，事实上，它是外界不变真理的揭示者，不但是物质世界的实际的与实在的结构的揭示者，而且是一切可能的实体的更广大领域的揭示者。实在只是真理世界中的许多可能性之一。

在休谟看来，“思想不过是方便地解释人类经验的一个实用的工具而已；它没有任何客观上的或形而上学上的确实性。”在莱布尼茨看来，“思想普遍地制定立法；它揭示出永久可能的事物的更广大的宇宙；它可以在一切经验之先决定那个经验必须符合的根本条件。……没有一个问题，无论是科学的问题也好、道德的问题也好或宗教的问题也好，可以不在实质上受到我们的决择的影响：我们究竟要采取这两种观点中的哪一种，或者说，我们希望对两种观点的互相冲突的要求作怎样的调和[①]。现代人对生物进化的信念赞成第一种看法：思想也许只是为了自我保存，靠了自然选择产生出来的一种工具而已。但近来的数学则赞成第二种看法：思想已经超越了欧几里得空间，规定出任何经验都揭示不出来的新的空间。

康德的任务是讨论这两种相反的见解，在可能范围内把没有被休谟破坏掉的莱布尼茨的纯粹理性抢救出来。他从两家共同之点出发：普遍性与必然性不是用任何经验方法所能达到的。他从莱布尼茨那里接受了关于先验思想的确实性的见解，但他也从休谟那里接受了另一个信念：其中的理性成分是属于综合性的。因

① N. Kemp Smith 上引书 p.xxxii。

此，作为认识的基础的种种原则，既没有内在的必然性，也没有绝对的权威。它们被归之于人类的理性，可以用事实验证；它们是感官经验的条件，是我们对于外观的认识的条件；但不适用于发现终极的实在；它们在经验的范围内是有效的，但在构造一种关于事物本身的形而上学理论时，是无用的。康德的唯理论接受先验性，但他只能证明这种先验性不过是与人类的经验相对而言。

194

在康德看来，科学探讨的范围，已经由牛顿的数学的物理学方法规定下来；只有那样才能得到科学的知识。他更指出这种知识是关于外观的知识而不是关于实在的知识。康德把科学知识局限于用数学物理学方法所得到的知识，未免过于狭隘，这样一来，许多现代生物学就被摈斥于科学之外了。但他把外观与实在分开，仍然有哲学上的价值。科学世界是感官揭示出来的世界，是现象的世界、外观的世界；不一定是终极实在的世界。

照牛顿的意见，空间与时间，是靠了上帝的意志，在它们自身之内独立存在着的，与领会它们的心灵无关，也和充斥其间的物体无关。另一方面，莱布尼茨以为空间与时间是从我们对实在物体的关系的混乱感官知觉中抽象出来的经验性的概念。康德指出，虽然我们不能肯定时间(或空间)是否具有形而上学上的实在性，但在我们领悟变化时，对时间的意识的确是实在的；同样的区别，在广延或空间上好象也同样有效。这样，康德动摇于牛顿与莱布尼茨之间。他既没有不可改变地把空间与时间同肉体感官材料归入一类中，也没有把它们和悟性的概念归入一类中。它们把两个表面上互相矛盾的宾词连结起来，从芝诺的时代以来，就引导我们走到一直没有解决的“理性的二律背反”那里去。物理学的世界是事件的簇合；心灵把它们分布在空间与时间之内，但这样便造成各种现象之间的关系，而这些现象最后证明是自相矛盾的。事件的机械性的

画面，在细节上自然是真实的，但我们不能肯定它是否具有终极的目的论的解释与意义——是否参与努力达到一个目的。我们能提出这样深奥的问题，但不能解决它。目前有人说，在古来一切哲学中，康德的形而上学最能代表近年来物理科学与生物科学所指明的境界。这些人说，相对论与量子论，生物物理学与生物化学，以及有目的的适应说，这些最新的科学发展都把科学的哲学带回到康德那里去[①]。为公平起见，我们应该将罗素(E.Russell)的相反的意见也提一下，他说："哲学世界被康德淹没在混乱与神秘之中，现在才开始脱身出来。康德有现代最伟大的哲学家之名，在我看来，现代哲学之有康德，实在是现代哲学之不幸而已。"[②]这又是在形而上学问题上至今仍然没有一致意见的一个例证。 195

有些人认为康德哲学与现代科学提供的征候是相合的。也许这种相合至少部分是由于康德本人是一位合格的物理学家。他在拉普拉斯之先创立了星云假说来说明太阳系的起源。他最先指出潮汐的摩擦有促使地球的旋转渐渐迟缓的作用，而且这种摩擦又靠了它的反作用，迫使月球以同一面对着地球。他指出地球自转时地面各带线速度的差异，可以解释"贸易风"及空气的其他类似的不断流动现象。他如地震的原因，人种的差异，月球中的火山，以及自然地理学，他都有著作论述。由此可见康德对于当时科学有渊博的知识。他在两个可能(或不可能)的情形不能凭逻辑加以判断时，抱保留的态度，也有科学家存疑的精神。他在处理关于实在的问题时也表现了这种态度。

洛克与休谟认为形而上学的实在不是人类理性所能探讨的。

---

① 看 J.B.S.Haldane, *Possible Worlds*, London, 1927, p.124.

② *An Outline of Philosophy*, London, 1927, p.83.

休谟尤其认为，终极的问题不是他心目中的求知的唯一方法所能解决的。他以为用逻辑的论据来为基督教辩护是危险的，他说(也许带一点嘲讽)："我们的神圣宗教是建立在信念的基础上的，而不是建立在理智的基础上的。"在这里我们可以看见中世纪后期对经院哲学以理性综合的反抗在现代的重演。思辨哲学还在不断地兜圈子，而科学已稳步前进了。

笛卡尔和他的承继人，在他们的二元论中，假定意识是终极的，不能分析的。康德却要进一步，将意识分析为若干因素。意识包含自动的判断。这是对意义的认识；它不揭示自身，而只揭示它的对象。在我们了解到我们的心理状态时，我们是把这种状态作为对象而了解的，正如我们了解外面的物体时一样。所以我们的主观状态，感觉、感情、愿望等是客观的，即是说这些都是意识的对象；它们是我们意识所揭示的自然秩序的一部分。因此，道德观念和繁星的天空一样实在，甚至更加实在，因为只有假定它是一个实在的，而不只是表面可见的"存在物"的自主活动的一部分，它才能得到解释。道德律是实在向人类心灵揭示自身的一个形式。理性规定，符合道德价值的幸福，才是我们的行动的目的，才是"最高的善"。在我们的有局限性的头脑看来，这好象只有在来世、只有在一位全能的神的统治下，才有可能，但康德却认为，我们决不能因为这个必然性在我们看来是唯一可能的解释，就断定它代表实际的事实。

196

决定论与唯物主义

牛顿和他亲近的门徒用新的动力科学来证明一位全能的造物主的智慧与善良。在洛克的哲学中，这种倾向已经没有那样强了，休谟把理性与信仰分开，更是把这种倾向排除无余了。

十八世纪后半期，这种观点的改变变得更加普遍了。社会上各界最有能力的人，对于宗教多抱怀疑态度，至少在法国是这样的。伏尔泰对于教士与他们的教义的抨击，不过是普遍的思想倾向的一些最机智的例子。洛克和英国自然神论者在大陆上也有他们的同志，即伏尔泰等人（他们把正统派加以摧毁），正如英国的辉格党君主政体的存在往往使其他国家的正统主义的权威大大减弱一样。

对于这个普遍的异端思想潮流，机械哲学或许作出了最重要的贡献。牛顿的理论在解释天体机制方面惊人成功，因此，人们就把这种机械概念对整个宇宙给予最后解释的能力估计得过高。马赫说[①]："十八世纪法国百科全书派以为他们离用物理的和机械的原理去给世界以最后解释的日子已经不远了；拉普拉斯甚至以为心灵可以预测自然界的世世代代的进展，只要有了质量和它们的速度就行了。"目前已经没有人敢说这样没有边际的大话了，近来且有确定的迹象，说明那样的决定论是不可能的。但是这种话在最初讲出来的时候，却是对新知识的力量的十分自然的夸大。当时新知识的适用范围在人们头脑中留下深刻印象，人们是在后来才认识到了它的必然的限度的。事实上，这是希腊原子论者的故事在不同环境下的重演；这些希腊的原子论者们把他们对于物理学的成功思辨性的看法推广到生命与思想世界，却不了解中间有一条逻辑的鸿沟，这鸿沟经过两千年的工作，还没有能沟通起来，仅不过是揭示出来和部分地加以探测而已。 197

牛顿以为他的天球的音乐唱的是一位全知、全能的上帝的故

① E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung*, 1883, Eng. trans. T.J.Mc-Cormack, London, 1902, p.463.

事。他谦逊地把自己比成一个在他所不知道的真理大海的岸边，拾着几个好玩的贝壳的小孩子。可是别人却没有他那样谨慎。在英国，十七世纪中叶，宗教上的分歧意见是尖锐的，但到了十八世纪，教会是容忍的，而且大半是宽大为怀的；每个人可以自由地创立一个新教来适合自己，并且有许多人利用这个自由了。所以机械的观念，从来没有象在比较讲逻辑的法国那样流行。在法国专制主义的罗马教是唯一有效的宗教，牛顿的同国人不但保留了他的科学，而且还保留了他的哲学和他们自己的宗教信仰。英国人这种可以同时保有在当时看来互不相容的几种信仰的倾向，不断地使大陆上的人感到惊异。这也许由于英国人是具有政治头脑的人民，他们本能地理解到，问题的两个方面通常都各有理由，到了知识增进以后貌似不相容的或许竟可以调和。在比较有才能的人身上，这种倾向说明他们具有真正的科学力量，能遵循着两条有用的思想路线前进，在没有证据可资检验以前，对于它们的比较深邃的含义与关系暂时不下判断。

另一方面，牛顿的法国门徒，却认为牛顿的体系说明实在是一付大机器，它的所有的基本要素都已经了解，所以人身体与灵魂就由于不可战胜的和机械的必然性而成为这个机器的一部分。例如伏尔泰在他的《愚昧的哲学家》书中就说："如果全部自然界，一切行星，都要服从永恒的定律，而有一个小动物，五尺来高，却可以不把这些定律放在眼中，完全任性地为所欲为，那就太奇怪了。"伏尔泰忽视了自然定律的意义，人生的意义，人的心灵的本性和自由意志的本质等问题。但他生动地表达了法国当时对于牛顿宇宙论的哲学和宗教含义的流行看法。

在哲学家认为牛顿的动力学体系仅仅提供了关于外观的知识，没有提供关于终极实在的知识，而自然神论者又利用这个体系

来攻击罗马正统教义的时候，有一股更流行的思潮也在有力地涌向唯物主义。唯物主义一词是十八世纪时开始使用的。不管坚不可破的原子，起初是不是由上帝创造出来（如牛顿所主张的那样），它们一到了大陆上的牛顿学说的某些解释者的脑中，便与上帝没有多少关系，而被用来复活古代原子论者的哲学了。

唯物主义一词，按照不严谨的用法，常被了解为无神论的同义词，或者用以表达任何与流行的正统教义不相容的哲学。但在我们看来，它有比较严格的意义；这是一种信仰，它相信，坚硬不破的死的物质，或牛顿的坚实不可穿透的质点，或现代物理学中的复杂的基本质点，乃是宇宙的唯一的终极实在；思想与意识不过是物质的副产品；在物质底下或以外，更没有什么实在。

古代原子论者把感觉归因于原子的布置与运动，而不归因于原子的本质。这个观点，在唯物主义复活时，为德·拉·美特利(de la Mettrie，1748年)与莫佩屠斯(Maupertuis，1751年)所接受，但罗比耐(Robinet，1761年)则把感觉归因于物质本身①。

机械决定论的有关观念，也为法国唯物主义派所注重，特别是在德·拉·美特利的《人是机器》一书中。由于攻击基督教及一切有神论，他到处受人非难，他的名字长期被人当作说明异端信仰的恶果的例子。另外一本名著《自然体系》，大部分出自霍尔巴赫(Holbach)的手笔，与笛卡尔的二元论相反，他论证说：既然作为物质存在的人在思想，所以物质也是能思想的。这是莱布尼茨学说的反题。莱布尼茨在其单子论中，把物质精神化，而不是把灵魂物质化。

唯物主义天真地、武断地认定现象世界是实在的。它尝试说

① F.A.Lange, *Geschichte des Materialismus*, Eng. trans. E. C. Thomas, vol. I, 3rd ed. London, 1925, p.29.

明意识的努力,如其他哲学的努力一样,是一个明显的失败。因为无知觉的质点的运动怎样能产生意识呢?换句话说,所谓赋予物质本身以感觉只不过是把有待说明的东西假定下来,即把当前的问题重述一番而已。唯物主义甚至不能驳倒另一极端的思想,即贝克莱的唯心主义。它经不起任何批判哲学的摧毁性的分析。可是,由于它容易"为人了解",而不象批判哲学不易懂,于是它就暂时成为除正统教义以外无知无识的人所可以信仰的最好的哲学了。而且,要构造科学的进步所必需的——至少在十八、十九世纪——可理解的世界画面,唯物主义是最简单的、也是最不令人感到心理疲倦的方法。在粗疏的日常应用上,它有它的优点,事实上,它在科学的每一细节上是必需的,但经常有这样一个危险:把它当成整个必需的科学的哲学,而且让它作为一种哲学把科学各部门的成功所必然带来的威信据为己有。这种情形在十九世期的一个短时期里就发生过。

但是如果我们稍加深思,就可以看见物质与其他科学概念一样,只有经过它对感官产生的影响,才能为我们知道——我们又回到认识的问题上来了。科学世界是外观世界,它为我们的感官和心灵所揭示与限制,不一定是实在的世界。在后面一章中我们将看见卢克莱修和牛顿的坚硬、有质量的终极质点,怎样分解为非物质的、也许只能用波动方程式来表达的质子、电子和其他粒子所组成的复杂体系。从相对论的观点我们也可以看到物质怎样不复是在时间中存在、在空间中运动的东西,而变成只不过是相互关联的事件所构成的体系。十八世纪时这些可能性是隐藏在未来里面;但洛克、贝克莱与休谟已经表明,通过感官所了解的自然,不一定能揭示实在。即令就当时已有的知识而言,最后分析起来,唯物主义本来已经不能使人满意了。

第六章　十九世纪的物理学

科学时代——数学——不可秤量的流体——单位——原子论——电流——化学效应——电流的其他性质——光的波动说——电磁感应——电磁力场——电磁单位——热与能量不灭——气体运动说——热力学——光谱分析——电波——化学作用——溶液理论

科学时代

如果我们有正当的理由把十九世纪看做是科学时代的开始的话，那么,原因并不仅仅在于，甚至主要不在于，我们对自然的认识在十九世纪中有了迅速的发展。自有人类以来，人们就在研究自然：原始的生活技术就是对物性的片段知识的运用，早期的神话与寓言就是根据当时已有的证据创立的世界和人类起源的理论。但在最近一百年或一百五十年中，人们对于自然的宇宙的整个观念改变了,因为我们认识到人类与其周围的世界，一样服从相同的物理定律与过程,不能与世界分开来考虑,而观察、归纳、演绎与实验的科学方法,不但可应用于纯科学原来的题材,而且在人类思想与行动的各种不同领域里差不多都可应用。

在以前时代的大发明中，我们看见实际生活的需要推动技术家取得进一步的成就;那就是说除了偶然发现所带来的发明之外，需要常在发明之先。但在十九世纪里，我们就看见为了追求纯粹的知识而进行的科学研究,开始走在实际的应用与发明的前面,并

且启发了实际的应用和发明。发明出现之后，又为科学研究与工业发展开辟了新的领域。例如，法拉第(Faraday)的电磁实验促成了发电机和其他电磁机器的发明，这些发明又向科学家提出新问题并给予科学家解决这些问题的新力量。麦克斯韦对于电磁波的数学研究，五十年后带来了无线电报与无线电话，这些技术又给物理学家提出了一些新的问题。巴斯德发现发酵、腐朽以及许多疾病都是由于微生物的作用以后，工业、医药与外科方面都取得了极重要的成果。孟德尔(Mendel)在布吕恩修道院里所进行的豌豆遗传的实验带来了系统的植物栽培以及小麦和其他谷类的许多改良品种，并且促使人们认识到某些有关动植物某些特性的遗传的原理。这种知识在今后对人类的福利也许会产生不可计量的影响。总之，科学过去是躲在经验技术的隐蔽角落辛勤工作，当它走到前面传递而且高举火炬的时候，科学时代就可以说已经开始了。

201

本世纪所特有的各种思想有许多在十九世纪开始的时候就已存在了，因而要划出一个明确的历史界限是不可能的。而且在技术科学的应用上，至今仍在进行的伟大工业革命，也早已开始了。在1769年瓦特得到冷凝器原理专利权的时候，工业革命的主要工具之一蒸汽机已经到了可以应用的阶段。这是一个实用的发明，后来才应用科学的原理去改进它、发展它。但是，使得世界社会情况发生革命性变化的另一大发明：电报通信，却是纯粹科学研究的结果；这种研究的开端可以追溯到1786年伽伐尼(Galvani)的工作。反转过来，为了便利海底电信而发明出来的反射镜电流计，对于纯科学也有很大的好处。

有些人看来，科学的实际应用，代表它的主要成就。但这些活动对人类思想的影响虽然很大，却是间接、缓慢和积累的。人类控制物质资源的能力，逐渐地、显然不可避免地扩大开来，主要是

靠了应用科学，因此，在一般人眼里，应用科学的重要远远超过于纯科学。事实上，在他们看来，科学的胜利一个接着一个，其结果，显然进展纵然缓慢却是所向无敌的。人类控制自然的能力的扩展似乎没有止境；人们都毫无理由地认为扩大控制自然的能力所用的机械原理，足可以解释整个宇宙的秘奥。

在我们要叙述的这一时期里，主要的倾向，是把动力学的实验与数学方法逐渐推广到物理学的其他学科中去，而且在可能的情形下，并应用到化学和生物学上去。科学的研究，至少在一时期里，和哲学探讨分了家。在整个十九世纪里，多数科学家都有意识地或 202 无意识地抱有一种常识性的见解，以为科学所揭示的物质、它的性质及其间的关系，就是终极的实在，而人的身体就是机械结构，也许偶尔为心灵所控制或影响。许多物理学家在考虑科学的基本概念时，认识到这些意见是便利工作的假设，经不起严格的考察；但在实验室与实际生活中，人们却没有时间来从哲学的角度表示怀疑。

在牛顿与拉瓦锡所奠定的基础上，物理学与化学建立起一座不断发展与和谐一致的大厦。这个成就使人们感觉总的路线已经一劳永逸地规划好了，此后不会再有什么惊人的新发现了，剩下来的工作不过是把科学的度量弄得更加精密，把几个明显的空隙加以填补罢了。事实上，这就是十九世纪末革命性发展前夕以前人们的信念。

数　学

在十九世纪里，出现了许多数学的新科目。其中我们必须提到数论、形论与群论，三角学发展成为多重周期的函数理论，以及一般的函数论。综合与分析的方法创造出一种新的几何学，而许多这样的方法被应用到物理学问题上去，这可能就是后来引导物理

科学大踏步前进的推动力中最大的推动力。

数学史的细节不在本书范围之内，这里只想谈谈对物理学主要部门具有特别重要性的几个数学分支的轮廓。

傅立叶 (Fourier) 在 1822 年出版的讨论热传导理论的《热的分析理论》一书里，证明一个变数的函数，无论是否连续，都可以展开为那个变数的倍数的正弦级数；这个结果后来被应用到珀松 (Poisson) 所提出的分析方法上去。高斯 (Gauss) 发展了拉格朗日和拉普拉斯的研究成果，并把这种成果应用到电学上去。他并且建立了量度误差的理论。

拉格朗日列出运动的微分方程式，使动力学得到极大的进步，哈密顿 (William Rowan Hamilton, 1805—1865年) 爵士又把这个工作推进了一步。哈密顿用一个系统中的动量与坐标去表示动能，并发现怎样把拉格朗日方程式转化为一组一阶微分方程式去决定运动①。他还发明了四元数。

203

萨卡里 (Saccheri) 在1733年，洛巴捷夫斯基(Lobatchewski)在1826年和1840年，高斯在 1831年和1846年，波约 (Bolyai) 在1832年分别对欧几里得几何学所依据的一些假定进行了讨论。1854年，

---

① 设 p_1, p_2,……为动量,q_1, q_2,……为坐标,拉格朗日方程式便是:

$p_1 = -\partial H/\partial p_1$,……及$q_1 = -\partial H/\partial p_1$,……,这里 H 是总能量。

一个力场里的位 ψ 是这样来定义的，使得任何方向的合力都可以用那方向上的位的减少率来量度：

$$F = -\left(i\frac{d\psi}{dx} + j\frac{d\psi}{dy} + k\frac{d\psi}{dz}\right).$$

哈密顿算子：

$$\left(i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}\right)$$

可写为∇，于是前一方程式变为：

$$F = -\nabla\psi.$$

运算符号 ∇ 使我们得以量出 ψ 在三个垂直方向的每一方向上的增长率，而使由此求得的三个向量合成为一。

黎曼(Riemann)促使人们普遍注意到非欧几里得几何学，以后凯利(Cayley)、贝尔特腊米(Beltrami)、赫尔姆霍茨(Helmholtz)、克莱因(Klein)，怀德海等又做了不少工作。这些作者都指出，我们可以在数学上讨论非欧几里得空间的性质，不管这样的空间是否为感官所认识这个问题有怎样的答案。到爱因斯坦建立了现代的相对性理论的时候，他们的研究才在物理学上变得很重要。

不可秤量的流体

热的强度的概念是从人们的感官知觉而来的，温度计帮助我们去测量它。阿蒙顿(Amontons)利用水银改进了早期的温度计，华伦海特(Fahrenheit)、列奥弥尔(Réaumur)与摄尔絮斯(Celsius)各自确立了标度。热的传播及辐射、对流和传导三者的区别，以及热量的概念，都是后来的研究课题。虽然最敏锐的自然哲学家，如牛顿、波义耳与卡文迪什等倾向于认为热是物体质点的颤动，但在还没有同我们的能量观念相当的确定概念以前，他们的意见是不能发展的。要前进一步就需要把热看做是一种可测度的量，由一物体传到另一物体时，数量仍然维持不变。在这个观念的指导下去进行实验，就需要对热的性质给予确定而适合的表述。于是就有一种学说应运而起。这一学说认为热是微妙的，既不可见而又无重量的流体，在物体的质点间极其自由地流通。

布莱克(Joseph Black，1728—1799年)澄清了把热和温度两种概念混淆起来的看法，分别称之为热的分量与强度。他从蒸馏酒厂得到启发，研究了冰融为水及水化为汽的状态变化。他发现在这些变化里大量的热被吸收，而温度却不改变。他说这些热成了“潜热”。他以为热流体或“热质”与冰结合而成水，成为“准化合物”，热质再与水化合而成汽。他的量度说明，融解一定量的冰为 204

水所需的热量与把同量的水加热到华氏140°所需的热量相等，但真正的数字是华氏143°。他还低估了汽化的潜热，把967°F误为810°。但这种测量要十分精确是很难的。布莱克又创立了比热的理论来解释为什么使不同物质发生相同的温度变化所需的热量是不同的，后来他的学生伊尔文(Irvine)详细地测定了一些物质的比热。这样他就创立了热量测定的方法，即量热术。热质说或热的流体说一直引导科学前进，到1840至1850年间，赫尔姆霍茨与焦耳才证明热功等价，确立了热是运动的一种方式的观念。

另一类似的流体说，或者说敌对的两流体说，引导了电的现象的研究者前进。要解释由于摩擦而带电的两个物体为什么彼此相引或相斥，可以假定电是与热相似的一种物质，是一种可加减的量。但在电的早期历史中，我们清楚地认识到有两种不同而且相反的电。玻璃与丝摩擦所生的电，可被硬橡胶与毛皮摩擦所生的电中和。为了解释这些结果，流体说假设有两种性质相反的流体或者有一种流体，它在比常量多或少时，就引起带电的状态。我们现在还在使用正电、负电等适合于单流质说的许多术语，虽然我们已经知道电不是连续的流体而是微粒的结构，这是我们在后面要说明的。当人们用起电机产生出比较大量的电，再贮蓄在来顿瓶(一个内外都贴上锡箔的玻璃瓶)一类电容器中的时候，就给实验带来很大方便。格雷(Stephen Gray，1729年)、杜费伊(du Fay，1733年)与普利斯特列(Priestley，1767年)首先分清了导电体与绝缘体，这两术语则是德扎古利埃(Desaguliers，1740年)所定出的。

205　人们一注意到电瓶放电的火花与声响，也就马上认识到它们与雷电相似，因而也就疑心这两种现象性质一样。怎样才能证明两者性质相同呢？怎样才能使天上的雷公服从物理学定律呢？富兰克林(Benjamin Franklin，1706—1790年)对这个问题似乎入了

迷。他留下的许多信札里都描绘了不少来顿瓶放电的实验，并提到天电有熔化金属、撕破物质等效应。

在带电体尖端的放电作用的启发下，达利巴德(d'Alibard)与其他法国人产生了把闪电传导下来的念头。1752年，他们在马里地方装置了一根高40呎的铁竿，要“决定带有闪电的云是否带电的问题”。当电云在竿上经过时，竿下端即发生火花。这个实验在其他国家也重复做过，而且完全成功——事实上，圣彼得堡的里曼(Riehmann)教授竟因为在屋上装置铁竿引导雷电而当场被击毙！同时富兰克林则用风筝安全地进行了同样的实验。

在风筝主杆的顶端装上一根很尖的铁丝，约比风筝的木架高出一呎余。在麻绳的下端与手接近之处系上一根丝带，丝带与麻绳连接之处可系一把钥匙。当雷雨要来的时候，把风筝放出，执绳的人必须站在门或窗内，或在什么遮蔽下，免使丝带潮湿；同时须注意不让麻绳碰到门或窗的格子。雷云一经过风筝的上空，尖的铁丝就可从雷云吸引电火，使风筝和整根麻绳带电，麻绳另一端的纤维都向四周张开，若将手指接近，就会被其吸引。当风筝与麻绳都被雨湿，而能自由传导电火时，你若将手指接近，便会看见大量的电由钥匙流出。从这把钥匙那里可以给小瓶蓄电；由此得来的电火可使酒精燃烧，并用来进行别的有关电的实验；而这些实验平常是靠摩擦小球或小管来做的，这样就完全证明这种电的物质和天空的闪电是同样的。

十八世纪时，人们进行了许多次加热于电气石等矿石与晶体而生电的实验，而且电鳗一类电鱼能给人以麻痹性打击的现象，也再度引起人们的注意。有人考察了它们的电器官，弄清它们给予人的打击的确是由于电的现象所致。

电力和磁力的研究开始于十八世纪末年。米歇尔和法国军事工程师库仑(Coulomb)先后在1750年左右和1784年发明了所谓扭秤，即一条轻的水平铁片，在中点上系上一根长铁丝，挂在一个玻璃匣内。库仑把一个带电的球放在铁片的一端，再拿一个带电 206

的球与它接近，这铁片即会扭转。他又拿一块磁铁换替铁片，再用另一磁铁和它接近也可使磁铁的一极扭转。他用这个方法发现电力和磁力都随着距离平方的增加而减少，证明这些力量和牛顿证明的引力有同样的关系。他还发现电力与电荷量成正比，因而可以用电力来量度电荷。这个有关电力的定律还先后由普利斯特列和卡文迪什用另外的方法发现过①。他们用实验证明任何形状的闭合带电导体里面都没有电力，所以球体内也没有电。牛顿过去用数学方法证明，如果平方反比的定律有效，一个由具有引力的物质构成的均匀球壳对于其内部的一个物体没有力的作用，而且任何别的力的定律都不会有这个结果；同样的研究也适用于电力。

力的定律既然成立，数学家就把静电学的课题拿过去，导出一系列周密的关系，在可以与观察结果比较的情况下，都证明与观察结果完全符合。导体表面电荷的分布，导体附近的电力与电位，导体与绝缘体的各种排列的电容量等，在高斯、珀松与格林的巧妙的手中，都证明可以用数学方法处理。

电是一种无重量、不可压缩的流体的学说和电是一个确定的量的观念是一致的，虽然在研究上并不是必不可少的，事实上却提出一个便于说明和研究这些现象的方便的画面。

更有历史意义的是人们的注意转向电力。与引力相同，电似乎也越过空间而作用于远处。数学家看来这不需要进一步的解释，但物理学家很快就开始推测这个空间的性质。因为这个空间竟然能传播两种表面上不同的力。我们以后会知道，这就引起了现今叫做“场物理学”的现代理论。

---

① Sir P. Hartog, "The Newer Views of Priestley and Lavoisier", *Annals of Science*, August 1941，引用 A. N. Meldrum 等人的著作。

单　位

重量与度量单位繁多，人们过去就感到十分不方便，至今仍然如此。法国人首先创立了合逻辑的、方便的十进制来代替这些繁多的单位。1791年，法国国民议会接受了一份专门委员会的报告，1799年完成了必需的量度标准，并决定采用；1812年决定自由使用，1820年强迫施行。

207

长度的基本单位是米，原来定为通过巴黎的地球经圈一象限的一千万分之一。但实际上，一米的长是等于摄氏零度时某一条金属棒两点间的距离。后来大地测量的精确度增高，知道米长并不恰好等于地球的经圈的一个象限的若干整分，但不加以改正。容量的单位是立特或升，应当是每边一分米($\frac{1}{10}$米)的立方体，但以其不易量度，1901年规定为一公斤(千克)的纯水在一大气压及摄氏四度(在这温度下水的密度最大)下的容积。

质量的单位是千克或公斤，原来规定为每边一分米的纯水在摄氏四度下的质量，但现在则等于1799年勒费贝-纪诺(Lefèbre-Ginneau)与法布隆尼(Fabbroni)所制定的铂铱合金标准衡器的质量。他们的工作的精确度可从吉洛姆(Guillaume)在1927年所定的最新立特值去判断，即一立特之值等于1000.028立方厘米。

时间的单位是秒，定为平均太阳日的1/86400，所谓平均太阳日是把太阳中心第一次过子午线和接连第二次过子午线之间的时间作为一年计算出来的平均时间①。

1822年，傅立叶在他的《热的理论》里指出副量或导来量按基本量来表示时，有某些量纲。假设以 L 表长度，M 表质量，T 表时

① 关于单位的定义，参看 *Report of the National Physical Laboratory for* 1928。

间，则速度 v（即在单位时间内所经过的长度）的量纲为 L/T 或 LT^{-1}。加速度是单位时间内速度的变化，其量纲为 v/T，即 L/T^2 或 LT^{-2}。力是质量与加速度的乘积，或 MLT^{-2}；功是 ML^2T^{-2}。高斯由这些动力单位导出电与磁的单位，以后还要提到。

约在1870年，达成一项国际协议，一致同意采用一项科学的量度系统，以厘米(1/100米)、克(1/1000公斤)和秒三者作为基本单位，这就是常说的厘米、克、秒(C.G.S)制。

208

原子论

前几章内，我们已将德谟克利特时代以来的原子哲学叙述过了。这个哲学经亚里斯多德驳斥后，在中世纪陷于停止状态，直到文艺复兴以后，才重新活跃起来。伽利略赞同这个哲学，伽桑狄用伊壁鸠鲁与卢克莱修的语言重新加以叙述；波义耳与牛顿在他们关于化学与物理学的思辨见解中也用了它。从那时以后它又被搁置，虽然它仍然渗透在科学思想中。

到了十九世纪初年，它被人重新提出，以解释固、液、气物质三态的物理性质，以及化学变化上的定量事实。

推翻燃素说以后，人们对物质的三态或三相有了更清楚的认识。物质虽然有三态，我们通常认识最清楚的总是其中一态，如我们认识最清楚的水经常是液体；但水可变为三态中的任何一态，如冷凝则为冰，蒸发则为汽。随着这种认识的进步，人们开始研究化学化合定律。气体的化合定律，最容易发现，因此，气体就不再是一种神秘的、半灵魂的实体，而与其他物体发生关系了。

根据精密分析的结果，人们，尤其是拉瓦锡、普鲁斯特(Proust)与李希特 (Richter) 等发现一个化合物始终丝毫不差地由同量的成分所组成(在当时达到的精度下)，这个定量化合的观念，在新

化学的体系中起了重要作用，虽然它和贝尔托莱(Berthollet) 的有分量的见解是不相合的。水不论是怎样得来的，总是氢与氧按1与8的比例而合成的。因此我们得到化合重的观念，如以氢的化合重为1，则氧的化合重为8。两种元素以多种方式化合成多种化合物时，一化合物中两种成分的比例与另一化合物中两种成分的比例，常有简单的关系：在一化合物中14分氮与8分氧化合，在另一化合物中则与16分氧化合，恰为前者的两倍。可是在同位素发现后，这种定量化合的概念稍有改变，以后还要谈到。

约翰·道尔顿 (J. Dalton, 1766—1844年)是威斯特摩兰(Westmorland)一个手机织工的儿子，在他做小学教员的稀少闲暇里，学得一些数学与物理学的知识。他在曼彻斯特得着一个教书的位置，开始他对气体的实验。他看到气体的性质最好用原子论去解释①，后来他把这种观念应用到化学上去，指出可以把化合的现象解释 209 为具有确定重量的相异质点的结合，而每一元素的质点都有其特定的重量。他说②：

物体有三种不同的区分或三态，特别引起哲学的化学家的注意，即弹性流体、液体与固体三词所代表的状态；我们所熟悉的很有名的例子是水，它在某些情况下，可以具有三种状态。在蒸汽，我们看见它是完全弹性的流体，在水，是完全的液体，在冰，是完全的固体。这些观察结果默默地引到一个似乎得到公认的结论：凡有相当大小的物体，不管它是液体或固体，都是由无数极微小的质点或原子所组成，他们为一种引力所束缚，这种引力因情况不同而有强弱的差异。……

化学的分解与合成不过是把这些质点分开或联合。物质的新创或毁灭是不在化学作用的能力范围之内的。我们要想创造或毁灭一个氢的质点，和在

① *The Absorption of Gases by Water*, Manchester Memoirs, 2nd Series, Vol. 1, 1803, p. 271.

② John Dalton, *New Systems of Chemical Philosophy*, Manchester, 1808 and 1810. Reprinted in the *Cambridge Readings in Science*, p. 93.

太阳系里增加一颗新的、或毁灭一颗固有的行星，一样的不可能。我们所能做到的改变，只是把粘着状态下或化合状态下的质点分开，以及把原来分离的质点联合起来而已。

在一切化学研究里，人们都正确地认为，弄清化合物中简单成分的相对重量，是一个重要的目标。不过，不幸的是，过去化学的研究就停止在这里；人们本来很可以从物质的相对重量，推出物体的终极质点或原子的相对重量，由此看出，它们在各种其他化合物中的数目与重量，用来帮助和指导我们未来的研究和改正研究的结果。因此，本书的一个重大目标，就是说明测定下列几个量的重要性和好处：单体与化合物中终极质点的相对重量，组成一个复杂质点的简单基本质点的数目，参与构成一个较复杂质点的比较不复杂的质点的数目。

如果有 A 与 B 两个可以化合的物体，以下为从最简的化合开始的各种化合的可能次序，有：

A 的 1 原子 + B 的 1 原子 = C 的 1 原子，二元的。

A 的 1 原子 + B 的 2 原子 = D 的 1 原子，三元的。

A 的 2 原子 + B 的 1 原子 = E 的 1 原子，三元的。

A 的 1 原子 + B 的 3 原子 = F 的 1 原子，四元的。

A 的 3 原子 + B 的 1 原子 = G 的 1 原子，四元的。

我们可以采取以下的通则，作为一切关于化学化合的研究的指针：

1.如果两物体化合时只得出一种化合物，我们必须假定这种化合是二元的，除非有某种造成相反情况的原因出现。

2.如果发现有两种化合物，则必须假定它们一个是二元的，一个是三元的。

3.如果有三种化合物，则可预料一个是二元的，其他两个是三元的……等等。

210　把这些规则应用到已经查明的化学事实上去，我们得到以下的结论：1.水是氢与氧的二元化合物，这两种元素的原子的相对重量约为1∶7；2.氨是氢与氮的二元化合物，这两种元素的原子的相对重量约为1∶5；3.氧化氮的气体是氮与氧的二元化合物，它们的原子重量为5与7；4.氧化碳是由一个碳原子与一个氧原子构成的二元化合物，共重约为12；碳酸气是三元化合物（有时也是二元的），它有一个碳原子和两个氧原子，共重为19；等等。以上各种情形，都是以氢元素的原子为单位来表达其他元素的重量。

道尔顿的叙述，自然包含着当时难免的错误：例如他将热看做是一种微妙的流体；他的化合重量也不精确，如以氢为单位时，氧的重量应该是 8 ，而他定为 7 。他假定，如两种元素的化合物只有一种，便应看做是一个原子与另一个原子的结合。这种假定也不是普遍适用的，因此，他对于水和氨的结构才有错误的观念。虽然这样，道尔顿把模糊的假说变成了确定的科学理论，的确取得科学史上的重大进步之一①。

道尔顿在小圆圈中加上点、星和十字等记号来代表元素的原子。这个方法后来为瑞典化学家柏采留斯（Berzelius，1779—1848年）加以改进，形成我们现今所用的体系，即用字母为符号去代表同一个元素的原子量相当的该元素的相对质量。例如H不是模糊地代表氢元素，而是代表等于 1（1 克、1 磅或其他单位）的氢的质量；O代表等于同一单位的16倍的氧元素的质量。

柏采留斯的主要实验工作，是在当时可能范围内，用最大的精确度来测定原子量，或者说等价的化合量。他也发现了几个新元素，研究过许多化合物，更在矿物学的研究上，揭开了一个新的篇章。他与戴维（Davy）联合确立了电化学的基本定律，并且看到电极性与化学亲合力之间的密切关系。他把这观念推广得太远，而为当时所难了解：他认为一切原子都含有阳电或阴电由于其相对力量，它们才化合。他认为每一化合物都是带异性电的两部分所组成。如果几个化合物互相化合，我们可以设想那是由于多余的异性电荷的作用。这个二元论的理论不够应付日益增进的知识，到有机化学兴盛时，就为基型说所代替了。现在我们明白化学和电两种现象有密切的关系，不过不如柏采留斯所想象的那样简单。 211

当人们对气体化合现象加以更广泛的研究时，道尔顿原来的

① A.J. Berry, *Modern Chemistry*, Cambridge, 1946.

原子观念，便表现出有缺陷。盖伊-吕萨克(Gay-Lussac，1778—1850年)表明气体化合时，其容积常有一定的简单比例，阿伏伽德罗伯爵（1776—1856年）在 1813 年指出：根据道尔顿的理论，和盖伊-吕萨克的观测，我们可以推断一切同容积的气体所含的原子数，必定彼此有简单的比例。安培于1814年独立得到相同的结论，但被人忘记或忽视了，到1858年，坎尼查罗(Cannizzaro)才再度澄清了这个问题。到那时，人们才从气体化合的事实以及从物理学的考虑看出，有必要把化学上的原子和物理学上的分子区别开来。化学上的原子是物质参加化合的最小部分；物理学上的分子，是能自由存在的最小质点。表达阿伏伽德罗假设的最简单方法，是假定同容积的气体含有同数的分子。以后我们还要说明这结果可用数学方法从物理学上的一个理论推导出来，这个理论假定气体的压力是由于它的分子常在不断地运动和碰撞而产生的。

但回到水的问题来，二容积(即二分子)的氢与一容积的氧化合，而得二容积(或二分子)的水汽。解释这些关系最简单的理论，是假定物理学上的氢分子与氧分子，每一分子都含两个化学原子，而水汽分子具有可以用 H_2O 代表的化学结构，因而这变化可以下列方程式去表示：

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

(2容积)(1容积)(2容积)

这样，既然氧的化合量是 8，而一个氧原子可以和两个氢原子化合，如果取氢的原子量为单位，则氧的原子量应是16而非 8。所以在决定各元素的原子量以前，我们必须将道尔顿的化合量加以调整，使之合于后来实验所发现的事实。首先按照所有证据系统地进行了这番工作的就是坎尼查罗。

212

由于一个氧原子和两个氢原子化合，我们就说氧的原子价是

2。原子价的观念，是以后许多年间大部分化学思想的基础。

已知的元素已经由道尔顿所认识的二十个增加到现在的九十多个[①]。元素发现的工作，是在间歇不定中进行的。当一个新的研究方法应用到化学问题的时候，就常常会发现一串新元素。电流的分解力使戴维爵士(1778—1829年)在1807年分离出碱金属的钾与钠。稍后光谱分析使我们发现铷、铯、铊、镓等物质。放射性的方法使我们发现了镭和它同族一类元素，阿斯顿的摄谱仪又使我们发现了许多同位的元素。

1815年，普劳特(Prout)就已经在研究元素的原子量与其物理性质之间的关系，随后纽兰兹(Newlands)与德·肖库土瓦(de Chaucourtois)也研究了这个问题。1869年，迈耶尔(Lothar Meyer)与俄国化学家门得列耶夫(Mendeléeff，1834—1907年)成功地证实了这种关系。门得列耶夫把元素按其原子量的顺序，由轻到重排成一个表时，发现它们有一种周期性——象纽兰兹所指出过的那样，每第八个元素都有一些相同的性质，一切元素可以照这样排成一表，使同性质的元素归到一栏里去。利用这样制成的周期表，可以把正确的原子量给与原子价未定的元素，表中的空白由门得列耶夫根据假设加以填补，这样他就预言了一些未知元素的存在及其性质，其中一些后来竟被人发现了。

门得列耶夫认为他的周期表只是纯粹经验事实的叙述。但这样的关系却不可避免地使人回到物质有共同基础的老观念上去。许多人以为这个共同基础可能就是氢，他们想证明如以氢的原子量为单位，其他元素的原子量全都是整数。虽然许多元素的原子量接近整数，但有几个元素，例如氯(Cl = 35.45)顽固地不遵从这

① 迄至1964年底这数字是103个。——译注

213 个方案，斯塔斯(Stas)等人增加测定原子量的精确度以后，也不能消除这个偏差。要证明物质具有共同基础并把原子量归结为整数，还得等候半个世纪；这种工作是当时的实验和理论能力办不到的。

电　流

我们在上面叙述的各种类型的起电仪器，都主要是用来把静电荷赋予某种绝缘体的。的确，如果使起电机接地，形成一个导电通路，则在这电路中就有一点电流通过。不过，就是在最优良的摩擦起电机中，每一秒钟通过的电量也都非常之少，以致要想在这电路上发现电流，那是很困难的，虽然，如果在导线中留一个空气间隙，则这起电机所生的高电位差，可以产生可见的火花。

十九世纪初，伽伐尼或伏特电池的发明，开辟了一个新的研究领域。这种电池引起了一系列现象，最初，称为伽伐尼流，经过许多人的努力，慢慢地和另外一系列以电得名的现象联系起来。我们终于明白所谓伽伐尼流，正是电的流动，只是和起电机所生的电量比起来，大很多，但其电位差却比电机所生的电位差小得不计其数。由于在电路的任何一点上都不能发现积存的电，我们也不妨把电流比做一种不可压缩的流体在不可伸长的刚性管内的流动。

伏特电池是由于偶然的观察而发现的。这个发现，最初似乎要引到另外一个方向去。1786年左右，意大利人伽伐尼发现蛙腿在起电机的放电的影响下发生收缩。在这次观察之后，他又发现：如果使神经和肌肉同两种不相类似的金属连接起来，而使金属互相接触，也可以得到同样的收缩。伽伐尼把这些效果归因于所谓“动物电”；后来，另外一个意大利人帕维亚的伏特(Volta of Pavia)出来，证明这种基本现象并不依赖于一种动物物质的存在。1800年，伏特发明了以他的姓得名的电池。在十九世纪初年，这种电池成

为一种研究的工具，在伏特和他的同时代的别国人手中，产生了一些很有趣味的结果。当时的科学杂志①登满了奇异的新发现的消息。当时的人都用极大的热情去研究这些发现，其热烈的程度，不亚于一世纪以后，人们阐释气体中的放电与放射现象时，所表现出的那种热忱。 214

伏特所制的电池，是用一串锌盘、铜盘以及为水或盐水浸湿的纸张，按下列次序相叠而成的：锌，铜，纸，锌，如此类推……最后是一个铜盘。这样一种组合，其实就是一个原始的原电池组。每一对小盘为浸湿的纸隔开，而成一个电池，造成少许电位差。这些小电池的电位差加在一起，便成了电池组铜锌两端的相当大的总电位差(或不恰当地叫做电动力)。另一种装置法是把若干装有盐水或稀酸的杯子集合在一起，每个杯子装置一块锌片和一块铜片。前一杯子的锌片与次一杯子的铜片相联，这样一直继续下去，留下最先一个锌片和最后一个铜片，作为电池组的两极。伏特以为效果的来源在金属的联接处；因此圆盘和两极的金属片的次序才如以上所述。这些金属片或圆盘不久便发现是无用的，虽然它们在这种仪器的早期图画中占有重要地位。

如果我们从伏特的电池取用电流，其强度便迅速地衰减，主要由于铜片的表面上生了一层氢气膜。这种电极化，可用硫酸铜溶液围绕铜片来阻止；这样生成的物质是铜而非氢；或用碳棒代替铜片，把它放在氧化剂如硝酸或重铬酸钾的溶液中，这样所产生的氢气就立刻变为水。

① 特别看那些年里的*Nicholson's Journal*。

化学效应

当伏特的发现的消息在1800年传到英国时，立刻就有人进行了一些基本观察，促成了电化学的诞生。尼科尔森(Nicholson)与卡莱尔(Carlisle)在把伏特电池的原来装置加以改变时发现：如果用两条黄铜丝连结电池的两极，再将两线的他端浸在水中，并使其互相接近，一端有氢气发生，另一端的黄铜线被氧化。如用白金丝或黄金丝来代替黄铜丝，则不发生氧化，氧以气体状态出现。他们注意到氢气的容积约为氧气的二倍，这正是氢氧二气化合成水的比例。他们说明这种现象就是水的分解。他们还注意到使用原来的装置时，电池内也有类似的化学反应。

215

不久，克鲁克香克(Cruickshank)分解了氯化镁、碳酸钠(苏打)和氨(阿摩尼亚)溶液，并且从银和铜的溶液中，将这些金属沉淀出来。这一结果以后导致电镀的方法。他又发现在阳极周围的液体变成碱性，而阴极周围的液体变成酸性。

1806年，戴维爵士(1778—1829年)证明酸与碱的形成是由于水中的杂质的缘故。他在以前已经证明，即使将电极放在两个杯中，水的分解也可进行，但须用植物或动物材料将两个杯子联接起来。同时他还证明电效应与电池内化学变化有密切关系。

伏特认为伽伐尼现象与电是同一现象。这个问题成了许多人研究的题目。到1801年，沃拉斯顿(Wollaston)证明两者发生相同的效果之后，才确定两者确是同一现象。1802年，埃尔曼(Erman)使用验电器测量了伏特电池所提供的电位差。这时，才明白老现象表现“紧张中的电”，而新现象表现“运动中的电”。

按照公认的惯例，我们一致同意假定电向所谓正电方向流动，即在电池内由锌版流到铜版(或碳棒)，在电池外沿着导线由铜流到锌。根据这个惯例，铜版称为电池的正极，而锌版称为负极。

1804年希辛格尔(Hisinger)与柏采留斯宣布中性盐溶液可用电流分解,酸基出现于一极,金属出现于另一极,因而他们断定:新生性的氢元素并不象以前所假想的那样,是金属从溶液中分离的原因。在当时所知道的金属中,有许多都用这个方法制备出来了,1807年,戴维更分解了当时认为是元素的碳酸钾与碳酸钠。他让强电流通过含水的这两种物质,而分离出惊人的钾与钠金属。戴维是康沃尔城(Cornwall)人,聪明、能干而又会讲话,他做了那时新成立皇家学院的化学讲师,他的讲演趣味丰富,吸引了许多人士参加。

化学化合物可以用电的方法来分解,说明化学力与电力之间是有联系的。戴维"提出一个假设,说化学的吸力与电的吸力同生于一因,前者作用在质点上,后者作用在质量上"。柏采留斯更将这看法加以发展。我们已经说过,他认为每个化合物都由带相反的电的两份结合而成,这带电的部分可能是一个或一群原子。 216

一个可注意的事实是分解的产物只出现于两极。早期的实验者已经注意到这现象,并提出各种不同的解释。1806年,格罗撒斯(Grotthus)设想这是由于溶液中的物质不断地在那里分解与复合,在两极间,互相邻接的分子互换其相反的部分,在这条联链的两端,相反的原子就被释放出来。

在电化学方面的最初发现以后,中间停顿了一个时期,到后来,大实验家法拉第(Michael Faraday,1791—1867年)才重新拾起这问题来。法拉第是戴维在皇家学院实验室的助手与继承人。

1833年,法拉第在惠威尔的建议下,制定一套新名词,至今还在使用。他不用*pole*(极)这个字,因为它含有相引相斥的陈旧观念,而采用*electrode*(电极)(ὁδός=路径)一词,将电流进入溶液的一端叫做*anode*(阳极),出来的一端叫做*Cathode*(阴极)。化

合物的两部分，循相反的方向在溶液中行动的，叫做 *ions*（离子）（ἴω＝我去）；走向阴极的叫 *cations*（阴离子），走向阳极的叫 *anions*（阳离子）。他又用 *electrolysis*（电解）（λύω＝分解）一词来代表整个过程。

经过一系列的巧妙的实验，法拉第将复杂的现象归纳成为两个简单的结论，即我们所说的法拉第定律。（1）不管电解质或电极的性质是什么，由电解所释出之物的质量与电流强度及通电时间成比例，换句话说即与通过溶液的总电流量成比例。（2）一定量的流量所释出之物的质量与这物质的化学当量成比例，即不与原子量，而与化合量成比例，亦即与原子价除原子量的数值成比例；例如释放 1 克氢元素，必出现16÷2即 8 克的氧元素。通过一单位电流所释出之物的质量叫做该物质的电化当量。例如 1 安培的电流（即 C.G.S.单位的1/10）通过酸溶液 1 秒钟之后，即有 1.044×10^{-5} 克的氢被释出来，如用银盐溶液即有0.00118克银分离出来。这样分离出来的银的重量很容易加以精确的秤量，所以后来竟把它作为电流的实用单位即安培的定义。

217

法拉第的定律似乎可以应用于一切电解情况；相同的一定电流量总是释放出单位当量的物质。电解必须看做是游动的离子在液体中带着相反的电到相反的方向去。每一离子带一定量的正电或负电，到电极时就释放离子，而失去电荷，只要电动力的强度可以胜过反对的极化力。后来赫尔姆霍茨说：法拉第的工作表明，“如果接受元素是由原子组成的假设，我们就不能不断定：电也分成一定的单元，其作用正和电的原子一样”。如此说来，法拉第的实验不但成为理论电化学及应用电化学以后的发展的基础，而且也是现代原子与电子科学的基础。

电流的其他性质

虽然早期实验者的注意主要集中在伽伐尼电流的化学效应上，他们也没有忽视其他现象。不久他们便发现：当电流通过任何导线时，就有热发生，多寡依照导线的性质而不同。这种热效应在现今的电灯、取暖等方面，有极大的实用价值。另一方面，1822年，塞贝克(Seebeck)发现两种不同金属联接成闭合线路时，在其接头处加热，便有电流发生。另外一个更有兴趣的现象是：电流具有使磁针偏转的力量。1820年，哥本哈根的奥斯特(Oersted)发现这一现象。他看见这效应穿过玻璃、金属和其他非磁性的物质而达到磁针。他还认识到，他或他的翻译者所谓的"电冲突""形成圆圈"，按照我们现在的说法就是：在长而直的电流周围有圆形的磁力线。

人们，特别是安培(André Marie Ampère, 1775—1836年)立刻认识到奥斯特的观察结果的重要性，安培指出，不但磁针受了电流周围的力的作用，电流自己也互相发生作用。他用活动的线圈进行实验，来研究这些力的定律，并据数学证明：一切观察到的现象都符合以下的假设：每一长度为 dl 的电流元，必在其外面的一点上产生 $cdl\ \sin\theta/r^2$ 的磁力，式内 c 表电流的强度，r 是电流元与这一点之间的距离，θ 是 r 与电流方向之间的角度。这样，由电流所生的力又归结到平方反比的定律，因此就同万有引力及磁极间、电荷间的力一致了。这又是走向"场物理学"的另一步。 213

自然，这种电流元不能用实验分离出来，但是按照安培的公式，将所有电流单元的效应都加合起来，我们就能计算出电流附近的磁场①。

① 例如一个圆形电路的中心，与每一电流元的距离都相同，又 θ 在任何处都是直角，因而 $\sin\theta=1$，这样磁力可按下式求出：

$$H=\Sigma\frac{cdl\sin\theta}{r^2}=\frac{c.\Sigma dl}{r^2}=\frac{c\times2\pi r}{r^2}=\frac{2\pi c}{r}.$$

根据安培的公式，我们也能算出磁场内的电流所受的机械力。在空气中磁极强度 m 所造成的磁力为m/r^2，所以 $m=cdl\sin\theta$。在磁场 H 中 m 所受的机械力是 Hm，所以在空气中安培的电流元所受的力为 $Hcdl\sin\theta$。从这个公式计算实际电路上的机械力，不过是数学问题而已。

远距通信是从眼睛看得见的信号开始的。散布乡间的许多"烽火台"，是久已废弃的信号岗位的遗迹。它们曾把拿破仑登陆的消息迅速地传达到了伦敦。电方面的每一个新发现都促使人们提出一些使用电报通信的意见，但在安培把他研究电磁所得的结果加以应用以前，这些意见都没有什么结果。在安培的成果发表以后，实际机器的发明与采用，就仅仅是机械师的技巧与金融界的信任问题了。

1827年左右，欧姆(Georg Simon Ohm，1781—1854年)做出很多贡献，帮助从电的现象中抽绎出几种能够确切规定的量来。他用电流强度与电动力的观念代替了当时流行的"电量"和"张力"等模棱的观念。电动力一词相当于静电学中已经使用的"电位"。当张力或压力很高的时候，要将电从一点运到他点，必需要较多的功，因此电位差或电动力可以定义为将一单位的电由一点搬到他点时为了反抗这个电力所作的功。

219　欧姆关于电的研究是以傅立叶关于热传导的研究（1800—1814年）为根据的。傅立叶假设热流量与温度的梯度成正比，然后用数学方法建立了热传导的定律。欧姆用电位代替温度，用电代替热，并且用实验证明这些观念的有用。他发现：如电流由伏特电池组或塞贝克温差电偶流出，通过一根均匀的导线，其电位的降落率是一个常数。欧姆定律一般写作：电流 c 与电动力 E 成比例，或

$$c = kE = \frac{E}{R},$$

式内 k 是一个常数，可名为传导率，而其倒数 $1/k$ 或 R，称为电阻。R 只随导体的性质、温度与大小而异，它与导体的长度成正比，而与其横剖面的面积成反比。这后一事实表明电流是在导体的全部质量中均匀地通过。后来发现，在很高远的交流电的情形下，还须加一些修改。

经安培与欧姆的努力之后，电流的问题已经到了新物理学的重要阶段，因为适当的基本量已经选出，并有了确定的意义，因而给数学上的发展奠定了坚固的基础。

光的波动说

十九世纪初年，还有另外一个古老的观念复活起来和确立起来，这便是光的波动说。我们说过[①]：光的波动说在十七世纪只有胡克等人模糊主张过，后来惠更斯才给予它一个比较确定的形式。牛顿根据两个理由加以摈斥。第一，它不能解释物影，因为牛顿以为如果光是波动的话，光波也如声波那样，会绕过阻碍之物。第二，冰洲石的双折射现象说明光线在不同的边上有不同的性质，而在传播方向上颤动的光波不能有这样的差异。托马斯·杨(Thomas Young，1773—1829年）与弗雷内尔（Augustin Jean Fresnel，1788—1827年)对这个学说赋予近代形式，而克服了这两个困难。不过有一件事是值得回忆的：牛顿以为薄膜的颜色说明光线里的微粒使以太中产生附从波。这个学说与现今用来解释电子性质的理论，惊人地相似。

① 第四章，163页。

220　杨使一束极狭窄的白光通过屏上的两个针孔，再把一个屏放在第一个屏后面。当穿过两个针孔的光线在第二屏上互相重叠时，就有一串颜色鲜亮的光带出现。这些光带是由于从两个针孔光源而来的同类光波互相干涉而形成的。如果一个光波到达第二屏所走的路程和另一光波的路程的相差数恰为波长的一半，则这一光波的峰与另一光波的谷就恰好相遇，结果就产生黑暗。如果两个光波前进的路程恰恰相等，两者的波峰就恰好相遇，光亮也就加倍。我们实际所看见的光是由白光除掉一个波长的光所留下的多色光。如果我们不用多色混成的白光，而用单色光作实验，则所得的将是明暗相间而非彩色的光带。

由所用的仪器的尺寸以及光带的宽度，我们可以计算出各种单色光的波长。这些波长经证明是非常之短，其数量级为一吋的五万分之一，或一毫米的二千分之一，和牛顿认为易反射和易透射的间歇长度恰相符合。由此可见，在光线的路径中，一般障碍物的大小比光波的长度大得很多，而且数学上的研究证明，如果我们假定一个前进的波阵面分解为无数同心圈，都环绕着与人目最接近的波阵面上的一点，那么，除了挨近那一点的同心圈之外，其余的同心圈必因干涉而相消，因而我们眼睛所看见的只有沿着直线而来的光。这样，光差不多只沿直线进行，遇着障碍物而弯曲的现象只限于微小的衍射效应。

牛顿的第二困难为弗雷内尔所克服。胡克偶尔提到光波的颤动，可能与光线的方向相正交，弗雷内尔指出这个提示说明一线光在各方向上可能有不同的性质。如果我们看看一个前进光的波阵面，它的线性颤动非上下的即左右的。这样的线颤动应产生所谓平面偏振光。如果一块晶体在一位置上只能让一个方向的颤动通过，第二块同样的晶体沿着晶轴旋转90度之后，必将通过第一晶体

而来的光完全遮断。这正是光线通过冰晶石的现象。

弗雷内尔利用数学将光的波动说发展到很圆满的境界。虽然还有一些困难，但大体说来，他的完善的学说与观测到的事实异常符合。他和他以后的人如格林、麦克卡拉（MacCullagh）柯西（Cauchy）、斯托克斯（Stokes）、格莱兹布鲁克（Glazebrook）等人经历一个世纪，才把古典的光的波动说确立起来。 221

如果光波是与其前进的方向成正交的，则其媒质必须具有使这样的波能在其中传播的结构。气体与液体都不能具有这种结构。因此，如果光是机械式的波动，则传光的以太必定有与固体类似的性质：即它必定带有刚性。这就是把以太看做是有弹性的固体的许多学说的开端。怎样才能把光的媒质所必需的这种性质和行星的运动没有遇到可观的阻力的事实调和起来呢？十九世纪头七十年的许多聪明物理学家为此绞尽了脑汁。为了解释这种必要的刚性，后来甚至有人设想以太具有回转仪式的旋转运动。

正如爱因斯坦所指出的①，光的波动说的成功，在牛顿物理学中打开了第一道缺口，虽然当时没人知道这个事实。牛顿把光看做是在空间中运行的微粒的学说，和他的别的哲学很相配合，可是这些微粒为什么只以一个不变的速度运动，很难了解。但等到人们开始把光看做是波动的时候，再要相信一切实在的东西都是由在绝对空间里运动的微粒所组成的，就已经不可能了。以太是为了保存机械观点而臆造出来的，只要可以把光看做是在类似刚体的媒质中传播的机械波动，以太就完成了这个任务，可是，如果假定以太无所不在，它已经在某种意义上与空间本身合而为一了。但法拉第指出空间也有电和磁的性质，到麦克斯韦证明光是电磁波

① *The Times*, 4 February 1929.

时，以太就不必一定是机械的了。

光的波动说揭开了现今所谓场物理学的第一章。由法拉第和麦克斯韦的工作写成第二章，把光与电磁联系起来。在第三章里，爱因斯坦用几何学来解释万有引力。也许有一天，万有引力可能和光与电磁波在更大的综合里联系起来。爱丁顿就一直在作这样的努力。

电磁感应

222

由静电的感应而生的静电荷以及磁石对于软铁的类似作用，使早期实验者想到利用伏特电池发出的电流也许可得同样的效果。例如法拉第就用两根绝缘线按螺旋的形式缠绕在同一根圆木筒上，但是，当他使强电流不断地通过一根螺旋线时，他在另一螺旋线里的电流计上，没有发现有什么偏转。

他的第一个成功的实验，在电学史上打开了一个新纪元。1831年11月24日，他向皇家学会这样描写这次实验

> 把一根203呎长的铜丝缠在一个大木块上，再把一根长203呎的同样的铜丝缠绕在前一线圈每转的中间，两线间用绝緣线隔开，不让金属有一点接触。一根螺旋线上连接有一个电流计，另一根螺旋线则连接在一套电池组上，这电池组有100对极版，每版四吋见方，而且是用双层铜版制造的，充分地充了电。当电路刚接通时，电流计上发生突然的极微小的效应；当电路忽断的时候，也发生同样的微弱效应。但当伏特电流不断地通过一根螺旋线时，电流计上沒有什么表现，而在另一螺旋线上也沒有类似感应的效应，虽然整个螺旋线的发热以及碳极上的放电，证明电池组的活动力是很大的。
>
> 用120对极版的电池组来重做这个实验，也未发现有别的效应，但从这两次实验，我们查明了一个事实：当电路忽通时，电流计指针的微小偏转常循一个方向，而当电路忽断时，同样的微小偏转则循另一方向。
>
> 到现在为止，我用磁石所得的结果，使我相信通过一根导线的电池电流，实际上在另一导线上因感应而产生了同样的电流，但它只出现于一瞬间。它

更带有普通来顿瓶的电震产生的电浪的性质，而不象从伏特电池组而来的电流；所以它能使一根钢针磁化，而很难影响电流计。

这个预期的结果竟得到了证明。因为用缠绕在玻璃管上的中空的小螺旋线来代替电流计，又在这个螺旋线里安装一根钢针，再如前把感应线圈和电池组连结起来，在电路末断以前将钢针取出，我们发现它已经磁化了。

如先通了电，然后再把一根不曾磁化的钢针安放在小螺旋线内，最后再把电路切断，我们发现钢针的磁化度表面上和以前一样，但是它的两极却与以前相反。

用现今的灵敏电流计，我们很容易重做法拉第的实验。只须用一个伏特电池作为原电流，而使原电路与副电路作相对的移动，或用一个永磁铁和一个与电流计相联的线圈作相对移动，都可以证明有同样的暂时电流的发生。法拉第电磁感应的发现，为后来工业的大发展奠定了基础。差不多一切实用上重要的电力机器，都是根据感应电流的原理制成的。

电磁力场

安培发现电磁定律，用数学公式把它表达出来以后，就感到满足，没有再去探索这种力靠什么机制传播了。但承继他的法拉第，不是数学家，对于中介空间或电磁力场的物理性质与状态特别感到兴趣。如果把一块纸版放在磁棒之上，再拿一些铁屑散布在纸版上，这些铁屑将集合成许多线，表明磁力是沿这些线而起作用的。法拉第想象这样的力线或力管将磁极或电荷连结起来，真的存在于磁场或电场之中，它们也许是极化了的质点所组成的链。如果它们象橡皮条那样，处在紧张状态之下，向纵的方向拉长，而向横的方向压缩，那么它们会在媒质中伸展出去，而将磁极或电荷向一起拉拢，这样可以解释吸引的现象。不论实际是否这样，用法拉第的力线，来表示绝缘的媒质或电场中的应力与应变的现象，实

223

在是一个便利的方法。

法拉第又从别的方面研究了电介质的问题。他发现在导体周围的空气为虫胶或硫一类绝缘体所代替时，导体的静电容量，即在一定电位或电压下它能负荷的电量，便有增加；这个增加的比例他叫做那个绝缘体的电容率。

法拉第的见解超过了他的时代，而且他用来表达这些见解的术语，也不是当时所熟习的。三十年后，麦克斯韦将这些见解翻译成数学的公式，并发展为电磁波的理论时，它们的重要性才被人认识（在英国立刻就被人认识，在其他国家比较慢）。这样，法拉第就奠定了实用电学的三大部门，即电化学、电磁感应与电磁波的基础。而且他坚决主张电磁力场具有极大重要性，这也是现代场物理学理论有关电的方面的历史起点。

电磁单位

我们得感谢两位德国的数学物理学家高斯（1777—1855年）与韦伯（W.E.Weber，1804—1891年），因为他们发明了一套科学的磁与电的单位。这种单位不是根据和它们同类的量任意制定的，而是根据长度、质量与时间三种基本单位而制定的。

1839年，高斯发表了他的《按照距离平方反比而吸引的力的一般理论》一书。电荷、磁极以及万有引力都适合这个关系。这样，224 就可以给单位强度的电荷或磁极下这样的定义：同相等的类似电荷或磁极在空气中相距一单位（1 厘米），而以一单位的力（1达因）对该电荷或磁极加以排斥的电荷或磁极。如果用另一介质来代替空气，这个力就按一定的比例减少，他用 k 来代表电力，μ 代表磁力。k 就是法拉第的电容率，在这里成为介质常数，μ 这个量后来叫做介质的磁导率。在这个基础上高斯建立了一个宏伟的数学演

绎的大厦①。

安培与韦伯由实验证明带电流的线圈，与同大小同形式的磁铁的作用相同，一个圆圈电流与一个在正交向上磁化的圆盘等效，所以一面是指北极，另一面是指南极的。这样单位电流可定义为和单位磁力的磁盘等效的电流。根据这个定义，可以用数学方法导出如下结果：圆圈电流中心的磁场(即作用于单位磁极的力)等于$2\pi c/r$，这里c是电流的强度，r是圆圈的半径，这个算式自然与由安培公式所导出的结果相合。所以只要将一颗小磁针悬挂在一 225

① 我们可取所谓的高斯定理来作一个例子。设想一定量的电被包围在密闭的表面内，而这个表面又被分为若干小部分，任一部分的面积可命名为a，并有一电力N作用于其正交向上。高斯证明所有aN量的总和等于4π乘面内的电量e的总和，而不管电的分布是怎样的。即：

$$\Sigma aN = 4\pi e,$$

这个关系可用简单数学从力的定律求出。如果我们将面内绝缘的介质常数计算在内，上式变为

$$\Sigma aN = \frac{4\pi e}{k} \text{或} \Sigma aNk = 4\pi e。$$

$\Sigma a\mathrm{N}k$这个量叫做面上的总的正常感应。

同样的方程式对于万有引力与磁力也有效，并且可以用来导出只有借高深数学才可以推出的结果。例如设有一个有引力的物质的球，其质量为m。更设想这个球被一个半径为r的同心球面所包围。在这个面上高斯定理有效，于是

$$\Sigma aN = 4\pi \mathrm{m}。$$

但这里一切都是对称的，N是常数，等于总力F，故

$$4\pi \mathrm{m} = N \times \Sigma a = \mathrm{F} \times 4\pi \mathrm{r}^2,$$

$$\text{即得} F = \frac{m}{r^2}。$$

这是一个质量为m的质点，放在引力球的中心，所应施的引力。这样，我们用最简单的数学便证明了牛顿的有名定理：一个均匀球的引力，好象质量集中在球的中心，同时我们也附带地表明高斯方法的力量。许多静电学与磁学的理论，可在高斯定理的基础上，用数学方法建立起来，也许复杂一些，但决不格外困难。参看作者所写的教科书：*Experimental Electricity*,Cambridge(1905—1923)。

大圆线圈的中心(这种装置就是现今所说的正切电流计)，再于电流通过线圈时，观测磁针的偏转，我们就可以以绝对单位或厘米-克-秒(C.G.S.)单位去测量电流。常用的电流单位(安培)按规定是上面所说的单位的十分之一，不过，多年以来为了实际应用与测量便利，一直是根据电解时析出银的重量来做电流单位的标准，如上面所谈到的。现在又有人提议重回到理论的定义上去。

热与能量守恒

在十八世纪和十九世纪中，由于蒸汽机的发展，热学成为一门具有非常重要的实际意义的科学，这反过来引起人们对于热学理论的重新注意。

我们以前说过，按照热质说，热是一种不可秤量的流体。这个学说在启发和解释测量热量的实验方面起过有益的作用。但作为物理的解释，分子激动说更合于敏锐的自然哲学家如波义耳和牛顿的口味。1738年，别尔努利(Daniel Bernouilli)指出，如果将气体想象为向四面八方运动的分子，那末这些分子对盛器的壁的冲击，便可解释气体的压力，这压力又必因气体被压缩与温度的增高而按比例增加，正如实验所要求的那样。

热质论者解释摩擦生热的现象时，假定摩擦生出的屑末或摩擦后最终态的主要物质的比热比摩擦以前的初态物质要小一些，因而热是被逼出而表现于外的。但在1798年，美国人汤普逊(Benjamin Thompson后来在巴伐利亚成了朗福德伯爵Count Rumford)用钻炮膛的实验证明发热的量大致与所作的功的总量成正比，而与削片的量无关。可是热的流体说仍然存在了半个世纪。

不过，到1840年，人们就开始了解自然界里各种能量至少有一些是可以互相变换的。1842年，迈尔(J.R.Mayer)主张由热变功或由功变热均有可能。迈尔在空气被压缩的时候，所有的功都表现为

热的假定下，算出了热的机械当量的数值①。同年，英国裁判官兼科学家、以发明一种伏特电池著名的格罗夫(W.R.Grove)爵士，在一次讲演中说明了自然间能量相互关系的观念，并在1846年出版一本书《物理力的相互关系》②中，阐述了这个观念。这本书和1847年德国大生理学家、物理学家与数学家赫尔姆霍茨 (H.L.F.von Helmholtz，1821—1894年) 根据独立的研究写成的《论力的守恒》③，是一般地论述现今所谓的"能量守恒"原理的最早著作。 226

1840至1850年间，焦耳(J.P.Joule,1818—1889年)以实验方法测量了用电和机械功所生的热量④。他先证明电流通过导线所生的热量，与导线的电阻和电流的强度的平方成正比例。他压水通过窄管或压缩一定量的空气或使轮翼转动于液体中，而使液体生热。他发现不管用什么方式作功，同量的功常得同量的热，根据这个等值的原理，他断定热是能量的一种形式。虽是这样，"经过多年之后，科学界领袖才开始赞同这种看法"，虽然斯托克斯告诉威廉·汤姆生(William Thomson)："他宁愿做焦耳的一个信徒"。1853年，赫尔姆霍茨访问英国时就已经看见许多人对这个科学问题发生兴趣，他到法国时又看见雷尼奥(Regnault)已经采取了新的观点。焦耳的最后结果表明：使一磅水在华氏55至60度之间温度升高1度所需要消耗的功为772呎磅。后来实验证明比较接近精确的数字是778呎磅。

焦耳用热与功等价的明确的实验结果，给予格罗夫所主张的"力的相互关系"、和赫尔姆霍茨所倡导的"力的守恒"的观念以有

---

① *Liebig's Annalen*, *May*, 1842.

② W.R.Grove, *the Correlation of Physical Forces*, London, 1846.

③ Helmholtz, *Abhandlung von der Erhaltung der Kraft*, 1847.

④ J.P.Joule, *Collected Papers*.

力的支持。这个观念就这样发展成为物理学上以“能量守恒”得名的确定原理。能量作为一个确切的物理量，在那时的科学上还是新东西。这个名词所表示的观念，曾经用不准确的、具有双重意义的“力”一词来表达。托马斯·杨指出，这样就把“能量”和“力”混淆起来了。能量可以定义为“作功的力”，而且如果两者的转换是完全的，能量便可以用所作的功来测度。“能量”一词用于这种专门的意义应归功于兰金(Rankine)与汤姆生。汤姆生采用了托马斯·杨所提出的把力和能量区别开来的主张。

227

焦耳的实验证明在他所研究过的情况里，一个体系中能的总量是守恒的，功所耗失之量，即作为热而出现。一般的证据引导我们把这个结果推广到其他的变化上去，例如机械能变为电能，或化学能变为动物热之类。直到近年为止，一切已知的事实都适合于这句话：在一个孤立的体系中，总的能量是守恒的。

这样确立的能量守恒原理可以和较早的质量守恒原理相媲美。牛顿的动力学的基础就在于这样一种认识：有一个量，——为了便利起见，称为一个物体的质量——经过一切运动而不变。在化学家手里，天秤证明：这个原理在化学变化中也一样地有效。在空气中燃烧的物体，它的质量并不消失。如果把所产生的物质收集起来，它们的总量必等于原物体与所耗的空气的份量的总和。

能量也是这样的：质量以外的另一个量出现在我们的意识里，主要是因为它经过一系列的转换仍然不变。我们觉得承认这个量的存在，把它当作一个科学的概念，并且给它起一个名字，是有种种便利的。我们称它为能或能量，用所作的功量或发生的热量来测量它的变化，并且费了许多工夫，经过许多疑惑，才发现它的守恒性[①]。

① 见第十二章。

十九世纪的物理学，没有一个方法可以创造或毁灭质与能。二十世纪出现了一些迹象，说明质本身就是能的一种形式，从质的形式转变为能的形式并非不可能的事，但直到近些年为止，质与能是截然不同的。

能量守恒的原则，约在1853年为汤姆森（Julius Thomsen）首先应用于化学。他认识到在化学反应里所发出的热是这个系统的含能量在反应前后的差异的衡量尺度。既然在一个闭合的系统中，最后的能量和最初的能量必然是相同的，因此，在某些情况下，我们就有可能预言这个系统的最后状态，而不必顾及中间的步骤，也就是一步跳到一个物理问题的解答，而不必探究达到目标的过程，象惠更斯对于某些比较有限的力学问题所做过的那样。由于这个实际的用途和它固有的意义，能量守恒原理可以看做是人类心灵的重大成就之一。

223

但是它有自己的哲学上的危险性。由于质量守恒原理和能量守恒原理在当时可以研究的一切情况下无不有效，这两个原理就很容易被引伸为普遍的定律。质量成了永恒而不灭的；宇宙里的能量，在一切情形下及一切时间内都成了守恒而不变的。这些原理不再是引导人们在知识领域内凭借经验逐渐前进的万无一失的响导，而成了有效性可疑的重要哲学教条了。

气体运动说

1845年，瓦特斯顿（J.J.Waterston）在一篇手稿备忘录中，进一步发展了由于热与能统一起来而显得更加重要的气体运动说。这篇备忘录在皇家学会的档案搁置多年而被人遗忘了。1848年，焦耳也研究了这个问题。这两位科学家把这个理论推进到别尔努利所没有达到的地步，并且各不相谋地算出分子运动的平均速

度①。1857年，克劳胥斯(Clausius)才首先发表了正确的物质运动说②。

由于分子碰撞的机会很多，而这种碰撞又假定带有完全的弹性，所以在任何瞬间，所有的分子必定向一切方向，带着一切速度而运动。全部分子的平动总能量可以量度气体的总热量，而每一分子的平均能量可以量度温度。从这些前提，我们可以用数学方法推导出气体的压力 p 等于 $\frac{1}{3}nmV^2$，这里 n 是单位容积中的分子数，m 是每个分子的质量，V^2 是气体速度平方的平均值③。

229 但 nm 是单位容积中气体的总质量，即是它的密度，所以如果温度和 V^2 不变，则气体的压力与其密度成正比例，或与其容积成反比例，这是波义耳由实验发现的定律。如果温度变化的话，由于 p 与 V^2 成比例，压力必随温度而增加，这就是查理定律。如果我们有两种气体在同压与同温之下，从以上的方程式可知在单位容积中两气体的分子数相等，这是阿伏伽德罗从化学事实得到的定律。最后，就这两种气体来说，分子的速度 V 必定与密度 nm 的平方根成反比例，这关系可以解释气体渗透多孔间壁的速度，这正是

① *Life of Lord Rayleigh*, p.45; Joule's *Collected Papers*, 又看"Joule", in *D.N.B.* by Sir Richard Glazebrook.

② O.E.Meyer, *Kinetic Theory of Gases*, Eng.trans.R.E.Baynes, London, 1899.

③ 假如一个分子以速度 V 运动，这速度可分为三个相互正交的方向上的三个分量 u，v 与 w；由于分速度能量的和必等于总能量，所以

$$V^2 = u^2 + v^2 + w^2。$$

总的说来，分子在各方向上的运动相等，所以

$$V^2 = 3u^2。$$

假设气体是装在1立方厘米的盛器内，一个以分速度 u 在相对两面往来运动的分子，每秒钟内必撞击每面 $\frac{1}{2}u$ 次。如果分子的质量为 m，当一个分子撞击一面又跳回时，其动量的改变为 $2mu$，因而每一秒动量的改变为 $2mu \times \frac{1}{2}u$ 或 mu^2。设1立方厘米内的分子数为 n，则在每单位面积上动量改变的总率，即压力 p，为：

$$p = nmu^2 = \frac{1}{3}nmV^2。$$

1830年格雷厄姆(Thomas Graham)由实验所发现的定律。

从这些演绎可见别尔努利、焦耳和克劳胥斯等提出的初步的气体运动论和气体的比较简单的实验性质是符合的。而且如瓦特斯顿和焦耳所表明的，这个学说使我们可以近似地算出分子的速度。例如，在摄氏零度及水银柱760毫米标准大气压，或每平方厘米1.013×10^6达因的压力下，氢的单位质量的容积是11.16升或11,160立方厘米。因此从$p=\frac{1}{3}nmV^2$方程式得到V为每秒1844米，或每秒一英里多。氧元素的相应数字是每秒461米。这些数字是V^2的平均值的平方根；V本身的平均值，即分子速度，稍小一些。1865年，劳施米特(Loschmidt)根据气体运动论，首先算出一立方厘米的气体在0℃和大气压下所有的分子数目为2.7×10^{19}。

麦克斯韦与波尔茨曼(Boltzmann)将高斯由概率理论所导出的误差律应用到速度分配的问题上去，这个理论现时对许多研究部门都十分重要。它表明由于分子的偶然碰撞的机会极多，它们可分为几群，每一群在某一速度范围内运动，其分布如图5所示。横标代表速度，纵标代表以某一速度运动的分子数。如果以最可能的速度为单位，我们就可以看出，速度三倍于最可能速度的分子数差不多可以略而不计。人们还可以划出类似的曲线来表示靶上枪弹分布，物理量度中的误差分布，按身长、体重、寿命长短、或考试中表现出的能力等划分的人群的分布。不论在物理学、生物学 230 或社会科学上，概率理论与误差曲线都有很大的重要性。预测一个人的寿命长短或一个分子在未来某时刻的速度，是不可能的；但如果有了足够数目的分子或人，我们就可用统计的方法来加以处理，我们可以在极窄狭的范围内，预测有好多分子在某一速度范围内运动，或好多人将死于某年。从哲学上来说，我们不妨说我们已经达到一种统计决定论，虽然在这个阶段里，个体的不确定仍然存

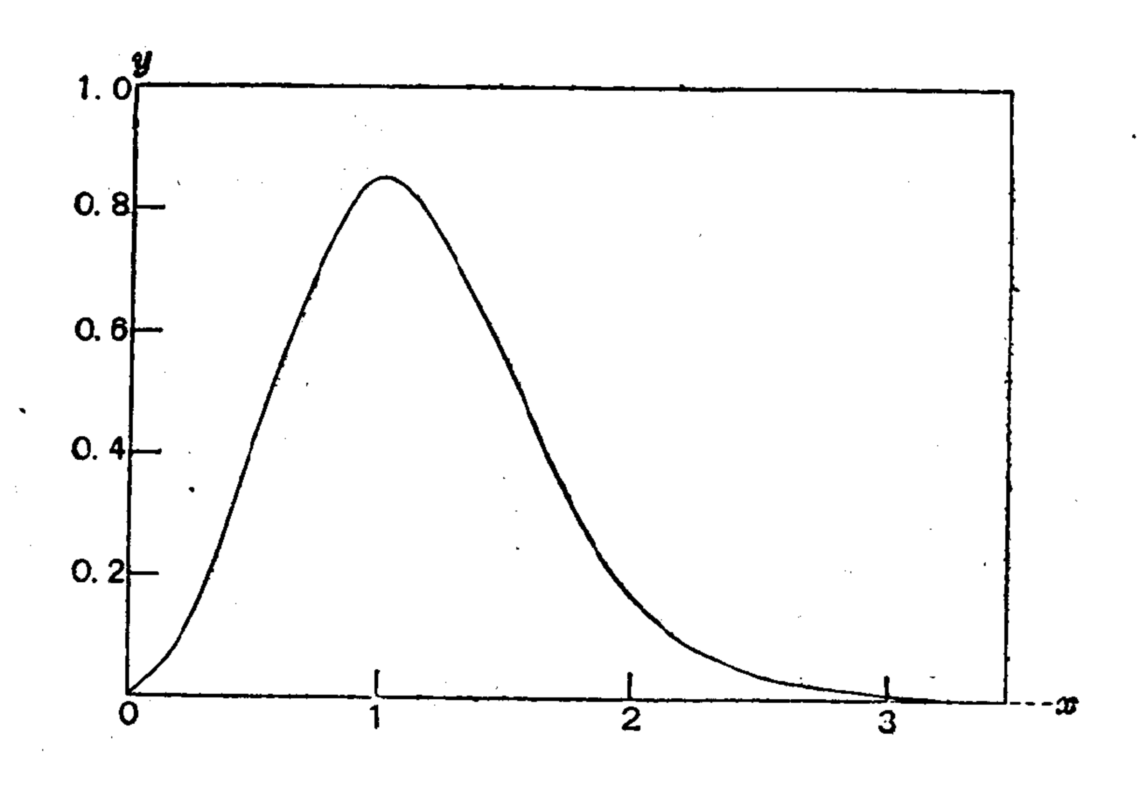


图　5

在。

波尔茨曼与沃森(Watson)查明，原来以他种速度运动的分子有归于麦克斯韦—波尔茨曼分布的倾向，因为这是最可能的分布。他们证明这种倾向与热力学上一个名为"熵"的量趋于最大值的倾向相当。达到这种最可能的情况——即熵达于最大值，速度按误差定律分布的过程，和洗纸牌相似。这种现象在自然界里是随时间的推移自然出现的；现时在科学上和哲学上，都有极大重要性。

麦克斯韦还指出气体的粘滞度必依其平均自由程而定，所谓平均自由程即一分子在两次碰撞之间所经过的平均路程。氢的平均自由程约为17×10^{-6}厘米，氧为8.7×10^{-6}厘米。碰撞的频率约为每秒10^9次，这个数字很大，说明为什么虽然分子的速度很大，气

231

体的弥散仍然很慢。气体的粘滞度并不象一般人所想象的那样随密度而变小，而是随着气体的被抽出，始终保持不变，除非密度达到很低的水平。这些理论的结果为实验所证明，因此这个理论的比较高深的部分很早就得到人们的信任。

根据气体运动论，温度是用分子的平动的平均能量来度量的，但这些分子也可能具有由转动、振动等而来的能量。麦克斯韦和波尔茨曼表明总能量应与分子的“自由度的数目”，即决定一个分子的位置所需要的坐标数成比例。空间一点的位置决定于三个坐标，因此决定温度的分子整体的运动，含有三个自由度。设自由度的总数为 n，当气体受热时，热能的一部分 $3/n$ 变为平动的能量，以使温度增高，其余 $(n-3)/n$ 则被分子用到其他运动上去。气体在容积守恒的情况下加热时，所有的热都用来增加分子的能量，但如压力不变，容积必增加，因此它必反抗大气的压力而作工。我们可以证明，从这里可以得出如下结论，在定压和定积的情况下，两种比热之比 γ 可以表为 $1+2/n$。所以，如 $n=3, \gamma=1+\frac{2}{3}=1.67$。在麦克斯韦进行这个计算的时候他还不知道有什么气体有这样的比值，但后来发现分子各单原子的气体，如汞蒸气、氩和氦都合于这个计算结果，因此，就热能的吸收而论，它们与简单的质点并无分别。平常的气体如氢与氧是双原子的分子。它们的 γ 等于1.4，表明这些分子有五个自由度。

如果将温度的改变一并加以考虑，波义耳定律——$pv=$常数——可扩张为 $pv=RT$，R是一个常数。分子间的吸引按密度的平方a/v^2而变化，这里a是一个常数，所以，其效果将p增加到$p+a/v^2$。分子本身所占的容积，不能再加压缩，所以其效果将 v 缩减到 $v-b$。因此，范·德·瓦尔斯 (Van der Waals) 于1873年得到以下的方程式： 232

$$\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=RT,$$

这个方程式用来表达某些"非理想气体"，同波义耳定律有出入的情况，颇为合适。

有几位物理学家，特别是安德鲁斯(Andrews)，用实验方法对这种气体加以考察。安德鲁斯在1869年左右对气体与液体两种状态的连续性进行了研究[①]。他指出每种气体都有其确定的临界温度，在这温度之上，无论压力怎样大，都不能使这种气体液化。因而气体液化的问题是一个怎样把温度降低到临界点以下的问题。

植物学家布朗(Robert Brown)1827年在显微镜下看见极微质点的不规则运动，从而直接证明了分子的运动；1879年拉姆赛(William Ramsay)在解释这个现象时，认为这是由于液体分子冲击悬于液体中的质点而造成的。克鲁克斯(Crookes)注意到如将轻的风车翼一面涂黑，装置在高度真空管中的旋转轴上，再把它放在日光中，它必按光亮的一面的方向旋转。麦克斯韦在解释这种旋转时认为这是由于黑的一面吸收了较多的热而造成的。分子受热激动，以较高的速度跳跃，碰撞风车翼时，便将黑面向后推动。

热力学

1824年，"胜利的组织者"[②]的儿子卡诺(Sadi Carnot)，指出每一热机(或热引擎)必须有一热体或热源与一冷体或冷凝器，当机器工作时，热即由较热的物体传到较冷的物体。卡诺在其手稿中谈到能量不灭的观念，但有很长时间，人们都按照热质说去了解他

① Royal Society, *Phil. Trans.* 1869, ii, p.575.

② 指法国大革命时代的政治家、军事家拉查尔·尼古拉·卡诺(Lazare Nicolas Carnot, 1753—1823年)。——译注

的研究成果，以为热经过机器后在量上不减，是靠温度的降低来作工的，正象水由高处降落，使水车工作一般。

卡诺认为要研究热机的定律，必须首先想象最简单的情形：热机全无摩擦，热不会因传导而散失。他还认识到在研究机器的工作时，我们必须假定热机通过一个完全的观察的循环，作工的物质，无论是蒸汽也好压缩空气也好或其他任何东西也好，经过工作之后仍然回复到原来状态。如果不是这样，机器可能从工作物质内部的能量中吸取功或热，全部的功可能就不全是经过机器的外部的热所做的了。 233

卡诺的循环说的现代形式是克劳胥斯与维廉·汤姆生（即后来的凯尔文男爵）完成的。当功变成热或热变成功的时候，其间的关系可以用焦耳的结果来表示。不过虽然永远有可能把一定量的功全部变成热，反过来要把一定量的热全部变成功，一般来说却是不可能的。在蒸汽机或其他热机里，所供应的热量只有一小部分变成机械能，其余的部分由机器中较热部分传到较冷部分，不能做有用的功。经验证明：热机开动时从热源取来一定量的热 H，而把其中的一部分热量 h 传给冷凝器。这两个热量之差 $(H-h)$ 就是可变为功 W 的最大热量，而实际完成的功与所吸收的热量之比 W/H，可作为这个机器的效率E。

一个理论上完善的机器，既不会由传导失去热，也不会由摩擦失去功，所以

$$W=H-h,$$

而

$$E=\frac{W}{H}=\frac{H-h}{H}。$$

一切完善的机器具有相同的效率，否则，我们便可把两个机器连结在一起，从冷凝器的热能中得到功，或通过一种自动的机制，继续

不断地把从冷体吸到热体中去，这两者都是同经验不合的。因此，效率以及由热体吸取的热与冷体放出的热之比，是与机器的形式或工作物质的性质无关的。和这些数量有关的只有热源的温度 T 和冷凝器的温度 t；而吸收的热与放出的热之比，只要写成了 $T/t=H/h$ 的形式时，便可用来做两个温度之比的定义，于是：

$$E=\frac{H-h}{H}=\frac{T-t}{T}.$$

234 这样，汤姆生就制定出一种热力学的温标。它是绝对的，因为它与机器的形式或工作物质的性质无关。如果一个完善机器的冷凝器的温度是零度，即 $t=0$，或 $E=1$，那就是说所有吸收都转变为功，没有热到冷凝器去，这时效率是 1。任何机器不能作比它吸收的热当量更多的功，或者说任何机器的效率都不能大于 1。因此这种温标的零度是绝对零度，即没有比这更冷的温度了。

这样规定的热力学的温标，纯粹是理论上的。实际上，我们根本无法测量一个完善机器所吸收的热量与所放出的热量之比，来比较这两个温度。单说一个理由：我们根本无法制造出一个完善的机器。因此我们必须把热力学的温标变成实用的东西。

焦耳在一个研究里，和他以前的迈尔一样，利用对空气进行压缩的办法来把功变为热。不过为了说明他采用这个办法的理由，焦耳重新进行了盖伊-吕萨克的被忘记了的实验，并且证明让空气膨胀而不作工，则温度没有可觉察的改变。由此可见当气体膨胀或收缩的时候，气体的分子状态没有什么变化，在压缩空气时，所作的功都变形为热。汤姆生与焦耳设计了一个更精细的实验方法，证明将气体压过一个多孔的塞，然后任其自由膨胀，温度的改变实在有限，空气稍为变冷，氢气甚至稍稍变热。根据数学上的考虑可以知道，如果用空气或氢气制成温度计（零度接近 $-273°C$），这种

温度计差不多和绝对的或热力学的温标相合，其间的小小差异，可以从自由膨胀的热效果计算出来。

热力学上的推理所得出的推论，不但使工程师可以把热机理论放在坚实的基础之上，而且在许多别的方面大大推动了现代物理学和化学的进步。法拉第单单利用压力，就在一个简单仪器中将氯气液化了。但绝对温标的理论以及汤姆生和焦耳的多孔塞实验为现代的一系列研究开辟了道路。经过这一系列研究，终于使一切已知气体都液化，并且最后证明各种类型的物质都在三种状态下连续存在。多孔塞的效果在平常温度下固然很小，在把气体先行冷却以后，就变得很大。如果不断迫使一种冷气体通过一条管嘴，它会变得更冷，并且可以用来冷却后面流来的气体。这样，235 这个过程的效果就累积起来，气体最后就被冷却到临界温度而液化。杜瓦(James Dewar)爵士在1898年用这方法使氢液化，卡麦林-翁内斯(Kamerlingh-Onnes)在1908年把最后剩下来的氦气液化。杜瓦用来进行液化实验的真空玻璃瓶，就是现今人所熟习的温水瓶。

有不少人研究过这种极低温对于物体性质的效应。最显著的一种变化便是电的传导率的急剧增大；例如铅在液态氦的温度(-268.9°C)的导电率比在0°C时，约大十亿(10^9)倍。电流在这种低温的金属电路里，一经开始，便经历许多小时而不稍减。

要从热的供应得到有用的功，温差是必需的。但在自然界中，通过热的传导与其他方式，温差是不断变小的。因此在一个有不可逆的改变进行的孤立的系统中，可作有用的功的热能倾向于不断地变得愈来愈少，反之，克劳胥斯称为熵的数学函数(在可逆的系统中是常数)，却倾向于增加。当可用的能达到最小限度或熵达到最大限度的时候，就再没有功可做了，这样就可以确定这个系统的

平衡所必需的条件。同样，在一个等温(即温度不变)的系统中，当吉布斯 (Willard Gibbs) 所创立的另外一个数学函数："热力学的位势"到了最小限度的时候，也可以达到平衡。这样，克劳胥斯、凯尔文、赫尔姆霍茨、吉布斯与奈恩斯特(Nernst)等就创立了化学和物理学平衡的理论。现代的物理化学的很大一部分，以及许多工业上重要的技术应用都不过是吉布斯热力学方程式的一系列的实验例证而已。

最有用的结果之一就是所谓的相律①。设想一系统里有 n 个不同的成分(例如水与盐两个成分)和 r 个相(例如两个固体、一个饱和溶液和一个蒸汽等四个相)，根据吉布斯定理，自由度的数目 F 将是 $n-r$，这上面还须加上温度与压力两个自由度。因此相律可表为下式：

$$F=n-r+2。$$

236 以前发现的第二个方程式给出如下四个量——即任何物态变化的潜热 L，绝对温度 T，压力 p 与容积的变化 v_2-v_1——之间的关系，即

$$L=T\frac{dp}{dT}(v_2-v_1) \text{ 或 } \frac{dp}{dT}=\frac{L}{T(v_2-v_1)}。$$

这个方程式的原理本来是詹姆斯·汤姆生(James Thomson)所创立的，1850年左右，由凯尔文男爵、兰金和克劳胥斯等人加以发展，以后更由勒·夏特利埃(Le Chatelier)应用到化学问题上。潜热方程与相律方程合在一起提供了不同的相的平衡的一般理论，以及系统不平衡时压力随温度的变化率。由此也可以知道，外界对

① Alexander Findlay and A.N.Campbell, *The Phase Rule*, London, 1938.

系统的作用在系统内造成一种对抗的反作用。

在相律方程里，如 $r=n+2$，则 $F=0$，这个系统便是“非变系”。例如，在只有一个成分的情况下，当水质的冰、水和汽三相集在一起的时候，它们只有在某一特殊温度才能达到平衡，而且只有在压力调整到某一特殊数值的时候，才能达到平衡。如果只有两相，例如水与汽，则 $r=n+1$ 与 $F=n=1$，因而系统只有一个自由度。在 pT 曲线上任何一点上，这两相都可以达到平衡，这曲线上每点的斜率都可由潜热方程测定。不只一个成分的系统自然更加复杂。

相律关系在科学与工业上极重要的一种应用，便是合金结构的研究。这一研究为人们提供了具有特殊性质、适合于特殊用途的许多金属①。这方面的理论主要是利用三种实验方法创立起来的：（1）以适当的液体侵蚀金属，放在显微镜下研究其磨光的截面；在1863年，英国谢菲尔德(Sheffield)的索尔比(H. C. Sorby)和德国夏罗滕堡(Charlottenburg)的马顿斯(Martens)创立了这种方法，主要是用来研究铁，其后，这个方法又有很大的改进。这个方法清楚地揭示了金属与合金的晶体结构。（2）热方法。让熔融的金属冷却，对时间和温度加以测量。当物态改变，例如由液态变成固态时，温度的降落变缓，或有一段时间完全停顿。在这方面，可以举出鲁兹布姆(Roozeboom)关于吉布斯理论的研究(1900年)和海科克(Heycock)与内维尔(Neville)的实验为例。（3）X射线方法。这个方法是劳厄(Laue)与布拉格爵士父子创立的，它揭示了固体(不论其为盐类、金属或合金)的原子结构，并开辟了一般原子研究的新领域。 237

① C. H. Desch, *Metallography*, 4th ed., London, 1937.

双金系的最简单的平衡可以用海科克和内维尔关于银与铜的研究为例来说明。纯银沿曲线 AE（图 6）从液态里凝冻，纯铜沿曲线 BE 从液态里凝冻。在交点E，银、铜两晶体同时出现，因而凝固是在不变的温度下进行的。在这种合金里，银占40%，铜占60%，其结构是有规则的，因而名叫“易熔合金”。

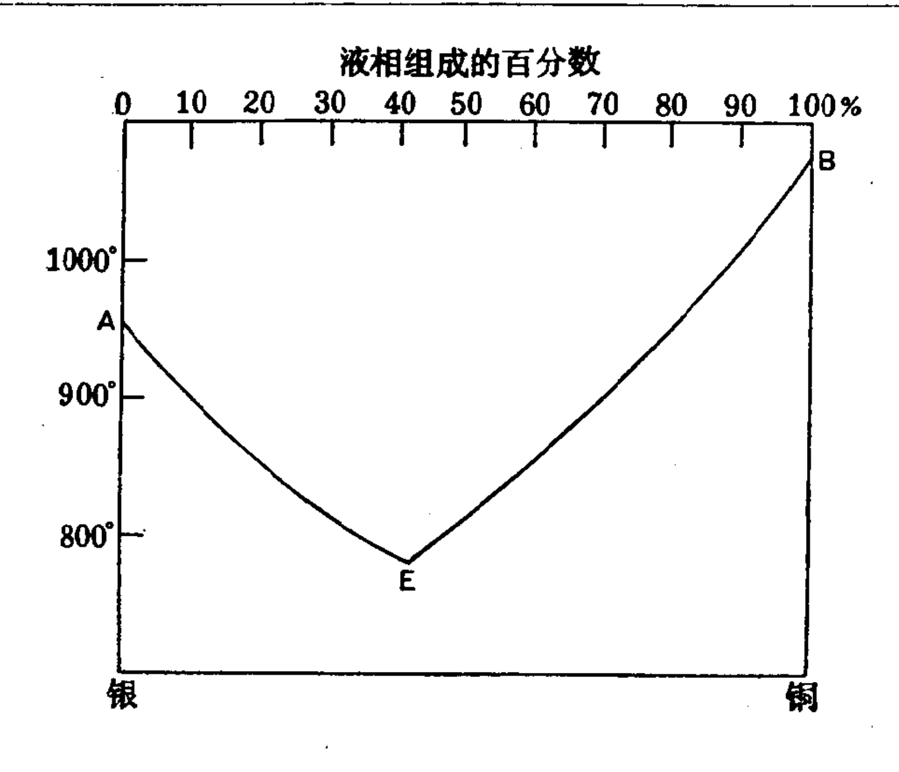
如果固体象液体一样可以改变其组成成分，我们将得着“和晶”或“固溶体”，与更复杂得多的现象。鲁兹布姆首先用吉布斯的理论，阐明了这些现象。在表示固溶体的图里，固体的溶度曲线的交点指明了一个极低的、以易熔点得名的温度。在这里，两个固态相一块从其他固态相结晶出来，而形成一种在结构上类似易熔合金的易熔质。图 7 是说明铁碳（碳少于 6 %）混合物的鲁兹布姆图的现代形式。这个图可以说明现已查明并且有了名称的各种化合物与固溶体，甚至说明了完全是固体的各种合金在确定的温度下的变化。这种金相图帮助我们探索组成成分、温度调节与物理性质之间的关系，以及铁和钢“回火”的结果。

近年来制出了许多具有各种特殊性质、适合各种用途的新合金，特别是铁的合金。供和平目的使用的合金如不锈钢，供制造武器使用的铁合金，都含有少量的镍、铬、锰、钨等金属。这些金属经过适当的热处理之后，可使铁的刚硬度或坚韧度增大或具有其他需要的性质。这些近年来的发展都是建立在上述理论与实验的基础之上的。以下举出几个这样的合金的例子：

将 3 %的镍加在钢内，增加强度而不减少延性。如果使用36%的镍的话，由于碳含量低，膨胀系数将变得很微小，这种合金可用于很多用途，称为“殷钢”或“因瓦（invar）合金”。铬能使碳化

238

物稳定，加少许于钢内，所造成的合金能抗腐蚀。镍铬钢在机器制造上很重要，特别是含有少许钼的镍铬钢。锰也能使碳化物更加


液相组成的百分数
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100%
B
1000°
A
900°
800°
E
银
铜

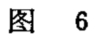


图 6

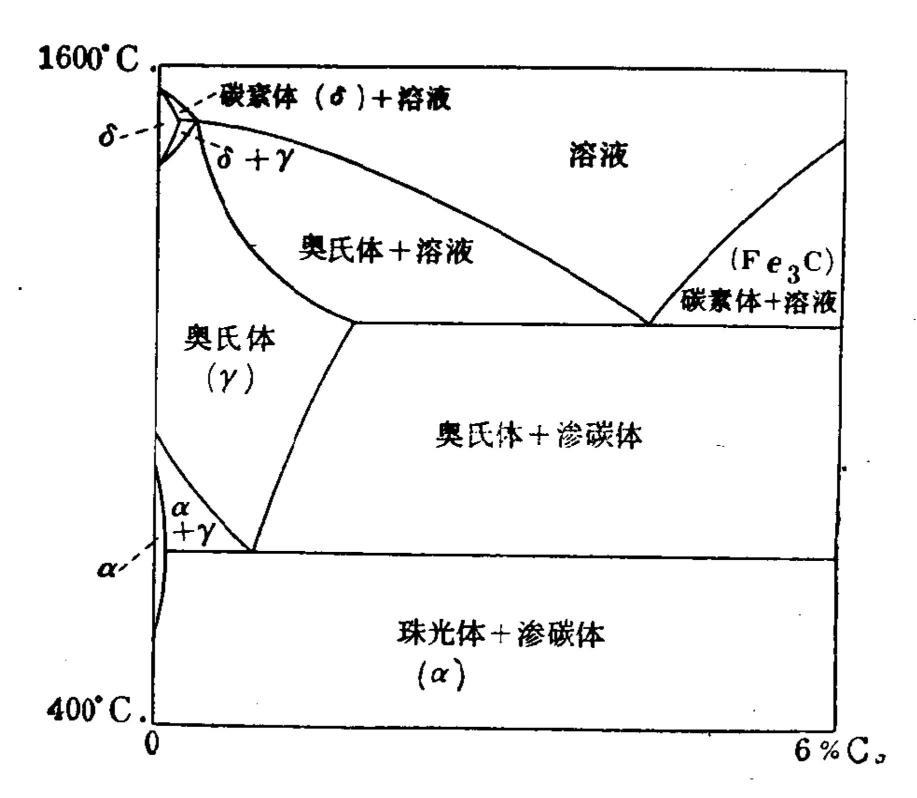

1600°C
碳素体（δ）+溶液
δ
δ + γ
溶液
奥氏体+溶液
(Fe3C)
碳素体+溶液
奥氏体
(γ)
奥氏体+渗碳体
α
+γ
α
珠光体+渗碳体
(α)
400°C
0
6%C

图 7

稳定，如果锰的成分很多则造成的合金易脆，锰的成分再多一些，最后就制成含碳12%的“高锰钢”。对这种合金的表面加工，可使其坚硬，获得极高的抗磨性，常用以制造碎石机的部件。钨原子量大，能减少固溶体里的移动性，因而保持高度的抗蠕变能力，并延
239
缓相变。钨钢与钴钢相同均可用以制造恒磁体。

在非铁合金里，铝的合金特别有趣，也特别有实用价值。1909年左右，维耳姆（Wilm）等人开始对于这种合金进行认真的研究。后来主要是由于航空工业需要质轻而强的金属，这一研究又有进一步的发展。铝合金里有一种名叫“硬铝”，含铜4%，镁0.5%和锰0.5%，其余95%为铝。为时间所硬化后，硬铝的强度可与软钢相比。还有许多别的铝合金与其他金属的合金，各具有特殊的性质。

热力学第一定律是能量守恒原理，第二定律是可用的能量愈来愈少。在把这些观念扩大应用到整个恒星宇宙上的时候，就有人认为，宇宙间的能量不断地通过摩擦转化为热而浪费了，同时，可用的热能又因温差减少而不断地减少起来。于是有些物理学家便想到在遥远的将来宇宙中所储蓄的一切可用的能量可能都要转化成热，平均分布到保持机械平衡的物质中，以后就永远不可能再有任何变化了。但这个结论建立在几个未经证明的假设上。（1）它假定根据有限的观察结果得出的结论，在大体上还没有弄清的更广泛的局面中同样有效；（2）它假定恒星宇宙是孤立的体系，没有能量可以进去；（3）它假定单个分子由于互相碰撞，速度不断地改变，我们不能追踪它们，把它们分为快速与慢速两类。

麦克斯韦想象有一个极小的生物或妖魔，有极微妙的感觉，可以跟踪每个分子的行动，负责管理墙壁上一扇无摩擦的滑动门，墙壁两边有两个装满气体的房间。当快速分子由左到右运动时，小

妖立刻开门，当慢速分子来时，他立刻关门。于是快速分子聚集在右室，慢速分子聚集在左室。右室里的气体逐渐变热，左室里的气体逐渐变冷。这样，有了控制单个分子的能力就可以使弥散的能量重新集中起来。

在十九世纪所了解的自然界的情况下，在我们只能用统计的方法来处理分子的时候，能量耗散的原理原是不错的。人们生活与活动需要的能量的供应量好象不断地愈来愈少，而热力学上的衰变的过程也有慢慢消灭宇宙里的生命的危险。按照新近的知识，这个结论究竟在多大程度上得到修改或证实，我们将在后面的一章内再加论述。在这里，我们应该指出，当分子的速度按照麦克斯韦-波尔茨曼定律分配的时候，熵达到最大值——即能量的耗散达到最大限度——的热力学条件就达到了，而这种分配的概率却是一个最大值。这样，就把热力学同概率论的已知定律及物质运动论联系起来了。 240

光谱分析

那种把天和地区别开来的传统看法，经过整个中世纪，人们还是这样相信，但伽利略与牛顿却把这种看法打破了。他们用数学方法与观察方法证明，通过实验确立的落体定律在整个太阳系中一样适用。

可是要最后证明天地同一，不但需要天地在运动方面是类似的，而且还需要证明天地在结构上与组成成分上也是类似的，还需要证明构成地上物体的习见化学元素，在太阳、行星与恒星的物质中也一样的存在。这好象是一个无法解决的问题。可是在十九世纪中叶却找到了一个解决的办法。

牛顿已经证明日光通过棱镜所形成的彩色光带，是由于白光

分析成物理上比较简单的成分的缘故。1802年沃拉斯顿发现太阳的光谱被许多暗线所截断;1814年弗朗霍费 (Joseph Fraunhofer) 重新发现这些暗线,并用多个棱镜增加光谱的色散度,仔细地将暗线的位置描绘下来。另一方面,1752年,梅尔维尔 (Melvil) 首先观察到,金属或盐类的火焰所造成的光谱,在黑暗的背景上呈现特殊的彩色明线;1823 年,约翰·赫舍尔 (John Herschel) 爵士又一次表示这些谱线可以用来检验金属的存在。这建议引起人们对于谱线位置进行观测,并加以描绘与记录。

1849年,弗科研究了炭极间的电弧光所生的光谱,发现在黄橙两色之间,有两条明线,恰在弗朗霍费称为 D 的两条暗线位置上。弗科更发现当日光通过电弧时,D 线便比较平常为暗,若将一个炭极的光(它本身产生连续光谱而无暗线)通过电弧,则 D 线又会出现。弗科说:"可见,电弧光本身是发生 D 线的,但若 D 线从旁的光源而来,电弧光就加以吸收。" 241

弗朗霍费谱线的理论好象首先是由斯托克斯(George Gabriel Stokes,1819—1903年)在剑桥的讲演中加以阐明的,可是由于他特有的谦逊,他并没有将他的见解广泛宣传。任何机械体系都能吸收与自己的天然振动合拍的外来能量,正象只要对儿童秋千不断地给予和它的自然摆动周期一致的一系列小冲击,便能使它动荡不停一样。太阳外围的蒸气分子也必定能吸收从比较热的内部射出的特殊光线的能量,只要这些光线的振动周期同蒸气分子的振动周期一致。这样射来的光必定缺少了具有那种特殊振动周期的光(即某一色彩),结果太阳光谱中便产生一条暗线。

1855年,美国人奥尔特(David Alter)描述了氢和其他气体的光谱。1855至1863年间,本生(von Bunsen)在罗斯科(Roscoe)的合作下,进行了一系列的实验来研究光的化学作用,1859年,他与

基尔霍夫(Kirchhoff)合作创立了最早的光谱分析的精确方法，于是化学元素，尽管只有微量，也可由它们的光谱检查出来。铯与铷两个新元素就是用这个方法发现的。

本生与基尔霍夫在事先不知道弗科实验的情况下，让发连续光谱的白热石灰光，通过含有食盐的酒精火焰，结果，看到了弗朗霍费的D谱线。他们又把锂放在本生煤气灯中重新进行了这个实验，找到一条在太阳光谱中找不到的暗线。他们断定太阳的大气中有钠，但没有锂，或者是含量太少，观察不到。

这样开始的天体光谱学，经过哈金斯 (Huggins)、詹森 (Janssen)与洛克耶(Lockyer)等人的努力，有了很大的发展。1878年，洛克耶在太阳色球层的光谱的绿色部分看见一条暗线，和地上光谱中任何已知线都不符合。他和弗兰克兰(Frankland)共同预言，太阳里有一个可以说明这种现象的元素；他们并把这个元素命名为氦。1895年，拉姆赛在一种结晶铀矿里发现了这个元素①。

242

1842年，多普勒 (Doppler) 指出，当一个波源与观测者作相对运动时，所观测到的波的频率便会发生改变。如果波源向观察者逼近时，每秒钟达到观察者的波数必定增多，结果是声或光的频率变高。反之，波源离观察者而去时，声或光的频率降低。在快车穿过车站时，汽笛声音由高而低，就充分说明了这种变化。如果一颗星向地球而来，其光谱线必向紫色一端移动，如果离地球而去，则向红色一端移动。这种多普勒效应虽然很小，却可以量度，经过哈金斯及以后许多人研究，使我们对恒星运动增长了不少知识，在近来还使我们对其他现象增长了不少知识。

同时光与辐射热具有相同的物理性质，也得到充分证明。

---

① *Chemical Society Trans.* 1895, p. 1107.

1800年，威廉·赫舍尔(William Herschel)爵士指出，将温度计放在太阳光谱中就可以看出，在可见的红色光之外，仍有热效应。过后不久，利特尔(Ritter)发现可见的紫色光以外仍有射线，可使硝酸银变黑。1777年，舍勒(Scheele)就发现了这种摄影作用。1830至1840年间，梅洛尼(Melloni)证明看不见的辐射热和光一样，有反射、折射偏振、干涉等性质。有许多物理学家，特别是基尔霍夫、丁铎尔(Tyndall)与鲍尔弗·斯特沃特(Balfour Stewart)把发射与吸收两种强度的等价原理，扩大应用到热辐射。他们发现，一个能吸收一切辐射的黑体，受热时也能发射一切波长的辐射。普雷沃斯特(Prévost)在其交换理论(1792年)中指出，一切物体都辐射热量，只是在平衡时，其所吸收之量恰等于所发射之量。

麦克斯韦从理论上证明辐射对它所照射的面施加一种压力，这压力虽然极其微小，但近年来已用实验方法加以证实。1875年，巴托利(Bartoli)指出这种压力的存在使我们想象一个充满辐射的空间，可以有理论上的热机的汽缸作用。1884年，波尔茨曼证明黑体的总辐射按其绝对温度的四乘方而增加，或 $R=aT^4$。斯蒂芬(Stefan)在1879年就已经凭经验发现了这个定律。这个结果很有用，不但对于辐射理论很有用，而且可以利用这个结果，通过观察所放出的热能来测量火炉的温度，甚至太阳和恒星的表面温度。温度增加时，不但总辐射照这个方式增加，而且所发射能量的最大值，也向比较短的波长的方向移动。

最后，一个元素的不同谱线的频率之间的确定关系，虽然到二十世纪才在物理学上显出无比的重要，在十九世纪时就已开始引起人们的注意。1885年，巴尔默(Balmer)指出氢元素的可见光谱里的四条线，可用一个经验公式来代表。后来哈金斯指出，这个公式还可表达紫外谱线的频率以及星云谱线和全食时日冕光谱线的

243

频率，因此，这些可能都是氢元素的谱线。由此，他断定星云和日冕之内有氢元素存在。

电　波

上面说过，法拉第的许多电学实验工作应归功于他对电介质或绝缘质的重要性的本能的理解。当电流的作用越过空间使磁针偏转或在不相联的另一电路上产生感应电流时，我们要么就必须想象有一种未经解释的"超距作用"，要么就必须想象空间里有一种传达效应的桥梁。法拉第采纳了第二种想法。他假想在"电介极化"里有一些力线或一些质点链。他甚至想象它们离开来源后，可以在空间里自由行进。

麦克斯韦(1831—1879年)把法拉第的想法写成数学公式。他指出法拉第电介极化的改变即相当于电流。既然电流产生磁场，磁力与电流正交，而且磁场的改变又产生电动力，显然磁力与电力有相互的关系。因此，当电介极化的改变在绝缘介质中，四面传布时，它必作为电磁波而行进，电力与磁力则在前进的波阵面上相互正交。

麦克斯韦所发现的微分方程式说明，这种波的速度只随介质的电与磁的性质而不同(这也是很自然的)，而这个速度可表为

$$v=1/\sqrt{\mu\kappa},$$

式内 μ 代表介质的磁导率，κ 代表介电常数或电容率①。

① 麦克斯韦用了拉格朗日和哈密顿所创立的数学方法，得到关于不传导介质的方程式：

$$\kappa\mu\frac{d^2F}{dt^2}+\nabla^2F=0,\qquad \kappa\mu\frac{d^2G}{dt^2}+\nabla^2G=0,\qquad \kappa\mu\frac{d^2H}{dt^2}+\nabla^2H=0,$$

这些方程式决定一个以速度 $v=1/\sqrt{\mu\kappa}$ 运动的扰动的传播。参看作者的书：*Theory of Experimental Electricity*。

244 由于两个电荷间的力与 κ 成反比，两个磁极间的力与 μ 成反比，所以用这两种力来规定的电与磁的单位必含 κ 与 μ。而任何单位的静电值与电磁值之比，例如电量的单位，必含 μ 与 κ 的乘积。所以只要通过实验比较两个这样的单位，便可测定电磁波的速度 v 的数值。

麦克斯韦和几位物理学家发现，这样测定的 v 的数值为每秒 3×10^{10} 厘米，和光的速度相同。于是麦克斯韦断定光是电磁现象，有了一种以太就可以传播光波和电磁波，无需再臆造好几种以太了。原来光波与电磁波，波长虽然不同而却是同类的。

但是我们怎样对待人们化费了那么多心血来研究的弹性固体以太呢？我们究竟应该把电磁波看作是“准固体”里的机械波呢还是应该按意义还不明白的电与磁来解释光呢？麦克斯韦的发现，第一次向世人提出了这个难题。可是他却加强了人们对于传光以太存在的信心。很明显，以太既能传光，也能执行电的作用。

麦克斯韦的研究成果在英国立刻得到承认，但在大陆上则没有得到应得的注意。到1887年，赫兹 (Heinrich Hertz) 才用感应圈上的电花所发生的振荡电流，在空间产生并检验到电波，而且用实验方法证明电波具有许多与光波相同的性质。如果真的有以太，它里面就挤满了“无线电波”，而这些波绝不是在空气里传播的。这一发现主要应该归功于麦克斯韦与赫兹的工作。

麦克斯韦要求物理学家集中注意绝缘的介质，以为这是带电系统中最重要的部分。很明显，电流的能量是在介质中通过的，而电流自己不过是这种能量耗散为热的路线，这条路线的主要功用是引导能量沿着有可能耗散的路径前进。在很迅速变化的交流电中，如在感应圈的电花的电流或闪电电花的电流中，能量刚进入导245 体，电流方向就改变了。因此，只有导线或避雷针的表皮可以有效

地带电，电阻也就比在稳恒电流的情况下高得多。

麦克斯韦理论的主要困难是不能对电荷给予明白的说明，至少不能对法拉第的电解实验所指明的相异的原子电荷给予明白的说明。麦克斯韦死后不久，原子电荷的观念就成了极重要的问题，我们现在就必须加以论述。但是我们须得先离开本题，去作一点题外的叙述。

化学作用

很早以来，化学作用的原因与机制便成为臆度的题材，引起牛顿很多的注意。1777年，温策尔(C. F Wenzel) 进行了确定的测量，想通过观察化学变化的速度来估计酸类对于金属的化学亲合力。他发现化学反应的变化率与酸类的浓度，即试剂的有效质量成比例，贝尔托莱(Berthollet)也独立得到这个结果。

1850年，威廉米(Wilhelmy)研究了蔗糖加酸时的“反旋”，即蔗糖分子分解成为较简单的左旋糖和右旋糖的过程。他发现当蔗糖液的浓度在反应进行过程中减少的时候，变化率便与时间的几何级数成比例而减少。这就是说在任何瞬间离解的分子数与当时存在的分子数成比例——假定蔗糖分子的离解互不相干，这种结果是很自然的。不管什么时候，只要这个关系对于某一化学变化有效，我们便可推断分子是单个地在起作用，而这种变化便称为单分子反应。

另一方面，如果两个分子互相起作用(双分子反应)，变化率显然决定于分子碰撞的频率，而这频率又与两种起作用的分子的浓度或有效质量的乘积成比例。如果分子的浓度相等，则此乘积将等于浓度的平方。

如果反应是可逆的，当两种化合物 AB 与 CD 互相作用而成

AD 与 CB 时，后二种同时也互相作用，而回到 AB 与 CD；当相反的变化以同等变化率进行时，即当 $AB+CD \rightleftarrows AD+CB$ 时，必成平衡状态。

这种动态平衡的观念是威廉森（A. W. Williamson）在 1850 年首先明白提出的。1864年，古德贝格（Guldberg）与瓦格（Waage）对化学作用的质量定律加以完满的表述；杰利特（Jellet）在1873年，范特-霍夫（Van't Hoff）在 1877 年又重新发现了这个定律。这个定律不但如上所述，可由分子运动理论推出，也可根据热力学原理从淡液体系的能量关系诱导出来。它在许多化学反应中得到实验上的证明。

246

上面说过，蔗糖的反旋在有酸类在场时进行得很快，否则进行得极慢。酸类并没什么变化，它好象只促进反应，自己并不参加反应。这一现象在1812年首先为基尔霍夫发现。他发现在淡硫酸溶液中，淀粉可变化为葡萄糖。戴维注意到铂能使醇蒸汽在空气中氧化。多贝赖纳（Döbereiner）更发现铂的粉末可使氢氧二气化合。1838年，德拉托尔（Cagniard de Latour）与施旺（Schwann）各不相谋地发现糖所以能发酵而成酒精与二氧化碳，是由于一种微生物的作用，柏采留斯更指出发酵与铂粉所促成的无机反应有相似性。柏采留斯把这种作用叫做“催化”，说促成化学反应的试剂具有“催化能力”。他指出在生物体中由普通物质、植物液汁或血而生成的无数种化合物，可能是由类似催化剂的有机体所制成的。1878年，库恩（Kühne）把这些有机催化剂叫做“酶”或酵素。

1862年，拜特洛（Berthelot）与圣吉勒斯（Péan de St Gilles）发现，如按分子比例将乙基醋酸与水混合，经过几星期之后，乙基醋酸就部分水解而成乙醇与醋酸，变化的速度是递减的。如果从酒精与酸开始，则化学变化朝反方向进行，最后平衡时的比例是相同

的。这些反应很慢,但如有矿酸在场,则几点钟内即可达到同样的平衡。这样酸就成了一种催化剂,而且可以看出,催化剂的功用在于促进两个方向中任何一个方向的化学反应。从某种意义上说,它的作用,好象滑润剂对机器所起的作用一样。1887年,阿累利乌斯(Arrhenius)发现酸类的催化作用与其导电率有关。

气体也有同样的现象。1880年,狄克逊(Dixon)发现如果氢氧二气很干燥,这两种气体就不能爆炸而成水气。1794年,富勒姆(Fulhame)夫人已早观察到这个现象。1902年,贝克(Brereton Baker)指出,如化合进行得很慢并且形成了水,就没有爆炸现象。阿姆斯特朗(Armstrong)表示,反应自身所形成的水过于纯粹,没有催化作用。据我们所知,还有一些时候,纯粹的化学物质也是不起作用的,似乎须有复杂的混合物在场,才能促进变化。有机催化剂或酶在生物化学上的重要性将在以后几章内叙述。 247

十九世纪最后几年发现了几个新的惰性元素。1895年,第三代雷利爵士(third Lord Rayleigh)注意到,从空气得来的氮比从其化合物得来的,密度要大一些,因而导引他和拉姆赛发现了一种惰气,命名为氩[①]。跟着发现的还有氦(参看241页)、氪、氖与氙,这是四年间从空气里发现的五个新元素。氩现在用于炽热的充气电灯,氩与氖用于广告霓虹灯,氖因其红光具有穿透性,更用于灯塔。和别的天然气一道从加拿大和美国的某些土地里逸出的氦气,过去用来充填飞船上的气球。这些元素在门得列耶夫周期表内形成原子价为零的一族,而在以后要叙述的莫斯利的原子序数表里也有其适当的地位。阿斯顿等人后来对于原子量与同位素所

① Lord Rayleigh and (Sir) Wm. Ramsay, *Phil. Trans.* 1895. M. W. Travers, *The Discovery of the Rare Gases*, London, 1928.

进行的研究使得这些气体在理论上比以前更加重要。

溶液理论①

物质在水中或其他液体中可以溶解，这是人所熟知的现象。有些液体，如酒精与水，按任何比例都可互相混合，而有些液体如油与水，一点也不能混合。固体如糖可在水里自由溶解，金属就不溶解；空气与类似的气体仅少许溶解于水，而氨气与氢氯酸气则大量溶解。

物理变化可与溶解同时发生。溶液的容积可能比溶质和溶剂相加的容积小，而且可能有吸热和放热现象。许多中性盐溶解于水时产生致冷效应，可是也有少数盐类如氯化铝溶解时发出热来。酸类与碱类也常发热。

这些反应，经过许多化学家研究。他们认识到这种反应的性质很复杂，其中有混合与化合两种情形，不过，它们的成分不断改变（与其他化合物之有一定比例不同）说明其间存在有一些特殊关系。但在十九世纪以前没有人将溶液现象当作特殊问题。

248

首先有系统地研究溶解物质的扩散的人是格雷厄姆（Thomas Graham，1805—1869年）。他对于气体扩散的实验，我们在前章已经说过了。格雷厄姆发现，晶体，如许多盐类，溶解于水时，常能自由地穿过薄膜，可以比较快地从溶液的一部分扩散到另一部分。但明胶一类不形成晶体的物质，溶解后扩散极其缓慢。格雷厄姆称第一类物体为凝晶体，第二类为胶体。起初以为胶体必定是有机物，但后来才知道许多无机物如硫化砷，甚至金属如黄金，经过特殊处

① W. C. Dampier Whetham, *A Treatise on the Theory of Solution*, Cambridge, 1902.

理，也可以呈胶体状态。

伏特电池的发明以及立刻随之而来的关于溶液电解性质的研究，已经叙述过了。1833年，法拉第指出，使一定电量通过电解液时，总是有一定量的离子在电极上析出。如果我们把电流看作是靠离子的运动而传递的，这就意味着每一个原子价相同的离子必定带着同样的电荷，这样单价离子所带的电荷，就成了自然的单位或电原子。

1859年，希托夫（Hittorf）在这个问题上又前进了一步。他让电流通过两个不溶的电极，结果两个电极附近的溶液就程度不等地稀薄起来。希托夫看出，利用这个事实就可以用实验方法把异性离子运动的速度加以比较，因发放速度较大的离子的电极必失去较多的电解质。这样就可以测定两种异性离子的速度比。

1879年，科尔劳施（Kohlrausch）发明了一个测量电解液电阻的好方法。由于极化作用，直流电是不能使用的，但科尔劳施却克服了这个困难。他采用了交流电和大面积的海绵状电极，来减少沉淀物的表面密度。他不用电流计，而用对交流电有反应的电话机来作指示器。在这样避免了极化作用之后，他发现电解液也服从欧姆定律，即电流与电动力成比例。因此最小的电动力也可以使电解质中产生相应的电流；除了在电极附近之外，也没有极化的反作用。所以离子必定可以自由交换，象克劳胥斯所说的那样。

科尔劳施就这样测定了电解质的传导率，并且指出由于电流为反向离子流所传送，传导率一定可以用来测量反向离子速度的总和。再加上希托夫的测定离子速度之比的方法，我们就可以计算个别离子的速度了。在每厘米有1伏特电位差的梯度下，氢在水里运动的速度为每秒0.003厘米，而中性盐类的离子的速度则约为每秒0.0006厘米。氢离子的速度值，经洛治（Oliver Lodge）爵士在实 249

验中加以证实。他用一种对氢灵敏的指示剂给明胶着色，使氢离子通过其中，然后加以追迹。中性盐离子的数值，则为本书作者所证实（本书作者观察了它们在着色盐类中的运动），从沉淀的形成中也可以得到证实。这些方法以后又由马森（Masson）、斯蒂尔（Steele）、麦金尼斯（MacInnes）等研究者加以改进①。

荷兰物理学家范特-霍夫对于溶液有另外一种看法。我们早已知道，经过细胞膜而渗入植物细胞的水，可以产生一种压力，植物学家佩弗（Pfeffer）用人工薄膜，即在无釉陶器上用化学方法造成沉淀而制成的薄膜，量度过这种渗透压。范特-霍夫指出，佩弗的测量表明，渗透压和其他因素的关系很象气体的压力，即与容积成反比，并随绝对温度而增加。在溶液不能渗透的薄膜中，水或其他溶剂可以进行可逆的渗透的现象使我们可以设想具有渗透性的细胞就是一个理想机器的汽缸，因此，范特-霍夫可以把热力学的推理应用到溶液上去，从而开辟了一个新的研究领域。他将溶液的渗透压和其他物理性质如凝固点、汽压等联系起来，这样，通过测量凝固点（这是一项比较容易做的工作），就可以算出渗透压。他从理论上证明稀溶液的渗透压的绝对值必与同浓度的气体压力相同，然后他又用实验证明了这个结果。我们并不能象有些人所设想的那样因此就得出推论说：两种压力具有相同的原因，或溶解的物质保持着气体状态。热力学的推理并不涉及机制的问题，它表明有联系的量之间的关系，但却不涉及这种联系的性质。渗透压也许象气体的压力一样，是由于分子的碰撞而产生的；也许是由于溶质与溶剂之间的化学亲合力或化学化合而产生的。不管它的性质怎样，只要它存在，它就必定适合热力学原理，在稀溶液中，如

250

① 看 A. J. Berry，上引书和 Report of the Chemical Society，1930。

范特-霍夫所证明的，它就必定遵循气体定律。可是它的原因未定，至少不是热力学所能确定的。

1887年，瑞典人阿累利乌斯证明渗透压与溶液的电解性有关。我们都知道，电解质的渗透压异常之大，例如氯化钾或任何类似的二元盐类的溶液，其压力为同分子浓度的糖溶液的压力的两倍。阿累利乌斯发现，这种特大的压力不但与电解的导电度有关，并且与化学的活动性，如酸类在糖发酵而变为酒精的过程中的催化能力也有关系。他的结论是这种压力说明电解质中离子互相离解，因此，举例来说，在氯化钾溶液中，虽然有若干中性的 KCl 分子存在，同时也有钾离子与氯离子各带着正电荷与负电荷，成为溶液导电度与化学活动性的来源。溶液越淡，离解的盐越多，到溶液淡到极度时，液中只有 K^+ 离子和 Cl^- 离子。有人认为这两种离子彼此分开，是和溶剂化合在一起的。

科尔劳施、范特-霍夫、阿累利乌斯的工作成了物理化学的庞大的上层大厦的起点。在这座大厦里，热力学与电学结合起来，使理论的知识不断地增进，并且愈来愈广泛地实际应用于工业。不但如此，我们也不要忘记后来有一些伟大的物理学家研究了电在气体中的传导，建成了现代科学中最有特征性的一个分支，而他们的离子观念却是溶液理论给予他们的。

从实验的观点来看，直接测定渗透压是很困难的，但是，美国的莫尔斯(Morse)与怀特尼(Whitney)，以及英国的贝克莱(Berkeley)伯爵与哈特莱(E. G. J. Hartley)，却先后在1901年和1906—1916年间，对高浓度的溶液中的渗透压进行了直接测定①。莫尔

① *Phil. Trans. Royal Society*, A, 1906, 206, etc. Alexander Findlay, *Osmotic Pressure*, London, 1919.

斯与他的同事所用的测定方法基本上与佩弗的方法相同，只是在细节上大有改进。贝克莱与哈特莱并没有观察溶剂的流入在半渗251透的小室里造成的压力，而是使溶液受到逐渐增长的压力，直到溶剂掉转运动的方向被排挤出去。他们把所得的结果和范·德·瓦尔斯方程式(见232页)加以比较；就蔗糖与葡萄糖而言，发现与下列公式最符合：

$$\left(\frac{A}{v}-p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=RT。$$

奥斯特瓦尔德 (Ostwald) 把质量作用的化学定律(245页) 应用于阿累利乌斯所想象的电解质的离解，找到一个稀化定律：

$$\frac{\alpha^2}{V(1-\alpha)}=K,$$

式内α代表电离度，V代表溶液的容积，K是常数。这个方程式对于弱的电解质有效，如轻度离解的酸和盐，这时上式变为

$$\alpha=\sqrt{VK},$$

但此式对于高度离解的电解质无效，这一失败，有很长时间成为电离理论不能为人接受的一个障碍。

这个困难为最近的研究大体上克服。1923—1927年间，德拜(Debye)、尤格尔(Hückel)与翁萨格(Onsager)指出，由于离子间的作用力，离子周围形成一种异性的离子大气①。离子运动时，它须在前面建起一个新的大气，而其背后的大气消散。这一作用形成一种阻挡的电拖曳，使它的运动，与其浓度的平方根成比例而减少。这样就导出一个相当复杂的方程式。如将离子的可能的缔合一并计入，这个方程式与实验而得的关系，即浓度与导电度的关

① R. W. Gurney, *Ions in Solution*, Cambridge, 1936.

系，大致符合，就是对强电解质浓溶液来说也是如此。

阿累利乌认为强电解质只有部分离解，而最近的研究却表明是全部电离。至于浓溶液里相对电离度的减少，那是由于离子速度的变缓的缘故。用X射线分析，表明原子就是在固态的晶体内，也是彼此离开，以后，也有人提出这样的看法（见384，427—8等页）。

第七章　十九世纪的生物学

252

生物学的意义——有机化学——生理学——微生物与细菌学——碳氮循环——自然地理学与科学探险——地质学——自然历史——达尔文以前的进化论——达尔文——进化论与自然选择——人类学

生物学的意义

在随着文艺复兴开始的科学时期里，天文学与物理学的进步所引起的思想上的革命是最大的一次革命。当哥白尼把地球从宇宙中心的高傲地位上推下来，牛顿把天体现象收服到日常习见的机械定律管制之下的时候，许多构成整个神意启示理论基础的默认假设，恰好也遭到了破坏。这样，人们的观点就发生了彻底的改变，可是还要经历相当长的岁月，效果才能表现出来。地是宇宙的中心，人乃创造万物的唯一目的和意义一类的流行看法，在一般人的信仰里虽然仍有其地位，可是有知识的人士早已把同这些看法有联系的一些天文学观念抛弃了。

在十九世纪的飞跃进步中，最有效地扩大了人们的心理视野，促成思想方式上的另一次大革命的既不是物理知识的大发展，更不是在这些知识基础上建筑起来的上层工业大厦。真正的兴趣，从天文学转移到了地质学，从物理学转移到了生物学和生命的现象。自然选择的假说，第一次给进化的旧观念提供了一个可以接受的基础，使人类思想在它的无尽旅途中走上下一段漫长的行程。在

这个过程中，达尔文成为生物学中的牛顿——十九世纪思想界的中心人物。单是自然选择也许不能完全解释后来出现的许多事实，但进化论本身却建立在一个广博的基础上了。这个基础随着时间的推移，只是更加巩固。

要追溯进化哲学的历史和意义，我们必须从第五章谈到的地方，去考察生物知识的进步。在构成生物学的基础的各门科学当中，物理学与物理化学，已经叙述过了，但是有机化学在十九世纪 253 才成为一个确定、独立的科学，须要在这里加以叙述。

有机化学[1]

动植物体内复杂物质的化学，主要是那个奇特的碳元素的化学。碳原子有一个特殊的性质，既能自己互相结合，又能和别的元素结合，以构成很复杂的分子。我们说过，自古以来就有两种对立的学说，一种学说主张生命是一种特殊的生命原质，另一种学说认为在生命体中，和在外界的物质世界中一样，机械作用可以最终地解释一切现象。有很长时间，人们一直以为组成动植物组织的复杂物质只有在生命的过程里才能形成，因此有人认为，对于生命的灵魂说的信仰就是随着这种看法兴起和衰落的。1826年，亨内尔(Hennell)用人工的方法合成了乙醇，1828年，韦勒(Friedrich Wöhler)用氰酸与氨制成了尿素。这些事实说明以前仅仅存在在生物体内的东西，现在也可以在实验室内制造出来了。以后跟着又制造出许多人工合成物，1887年，费舍(Emil Fischer)，由碳、氢、氧等元素合成了果糖与葡萄糖。二百年来有机物只能用干馏方法分析，分析的结果经过秤量，按份数记录下来，即气、液、油和

---

① 可参考：Sir Edward Thorpe, *History of Chemistry*, London, 1921.

碳滓各占若干份① ,可是到了十八世纪后期,就已经知道了许多有机化合物,舍勒(Scheele)就分离出几种有机酸。

有机化学的头一个基本问题是测定化合物中的元素与其组成的百分数。现今所用的方法是将要测定的化合物放在氧化铜放出的氧内燃烧，然后测量燃烧后的产物的数量。这种分析的方法主要是由拉瓦锡、柏采留斯、盖伊-吕萨克与泰纳尔(Thénard)等人发明出来的,又由李比希(Justus Liebig)加以极大的改进,到1830年，碳化合物的成分可根据经验得到相当精确的测定。一个惊人的结果便是发现了“同分异构体”(即有些化合物组成成分百分数相同而物理与化学性质不同)，例如异氰酸银与雷酸银，尿素与氰酸铵，酒石酸与葡萄酸都是。柏采留斯认为这种现象是由于两种 254 同分异构体的分子中原子的排列与联系不同的缘故。同样的现象也在元素中发现了，拉瓦锡证明木炭与金刚石在化学上是同一物质。

柏采留斯的见解,在弗兰克兰(1852年)、库珀(Couper)与凯库勒(Kekulé,1858年)等人将原子价的观念阐明以后,得到进一步的发展。如常用酒精的经验式 C_2H_6O 可以写成构造式如下：

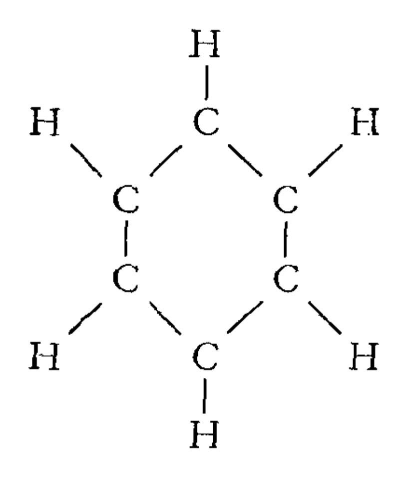
$$\begin{array}{ccccccc} & & H & & H & & \\ & & | & & | & & \\ H & - & C & - & C & - & OH \\ & & | & & | & & \\ & & H & & H & & \end{array}$$

式中,凯库勒所指出的碳原子的四价，可用四条线表示，而每一条线可与别的原子如H或与别的原子团如羟基OH 相连接。

---

① M. Nierenstein, *Isis*, No. 60, 1934, p. 123.

1865年，凯库勒在讨论芳香化合物的文章中，把这些见解推广去解释这类化合物中最简单的苯(C_6H_6)的结构。凯库勒指出苯与乙醇不同，乙醇的碳链两端开放，而要解释苯的化学性质与反应，须将碳链的两端连结成一个合闭的环，如下图所示：



只要设想有一个或多个氢原子被其他原子或原子团所置换，便可以表达比较繁复的芳香化合物的结构。

这样，有机化学便理论化了。人们根据理论上可能的结构式，预言有某些新的化合物存在，而许多预期的新化合物也真的合成或分离出来了。这样，就有机化合物而言，结构式的理论就使我们可以把演绎的方法应用到化学上去。

米彻尔里希 (Mitscherlich) 本来早已指出原子结构与晶状有关，在1844年，他又促请人们注意一个事实：酒石酸的各同分异构物，虽然化学反应，组成成分及结构式都是一样，可是光学性质却不 255 相同。1848年，巴斯德 (Louis Pasteur, 1822—1895年) 使葡萄酸盐重结晶时，发现有两种晶体形成，它们的关系如右手与左手或实物与镜中的影像一样。如果将这两种晶体分别取出，再加溶解，一种溶液可使偏振光的偏振面旋转向右，另一种溶液则使偏振面旋转向左。第一种溶液后来证明含有一种普通酒石酸的化合物，第

二种溶液则含有另一新盐，与第一种混合，即得葡萄酸盐。葡萄酸和类似物体的分解可以利用酵素一类有生命体的选择作用来实现。事实上，从有生命的物质中得出的许多产物在光学上都是活泼的，而在实验室中合成的同样的产物却是不活泼的。

1863年，维斯里辛努斯（Wislicenus）根据乳酸的类似现象断定，这两种不同的晶体一定是由于原子在空间的排列不同而造成的。1874年，勒·贝尔（Le Bel）与范特-霍夫也各自独立地得到这个观念。他们推断说，一切在光学上活泼的碳化合物都具有不对称的原子结构。范特-霍夫以为碳原子 C 位置在四面体的中心，其四角上放有四个其他原子或原子团（图 8）。如果这四个原子或原子团各不相同，就可得一种不对称的结构，这里可能有两种安排，彼此的关系和实物与镜中影像的关系一样。勒·贝尔、琼斯（H. O. Jones）、波普（Pope）、基平（Kipping）等人又发现碳以外的其他元素，特别是氮的化合物也有同样的现象。

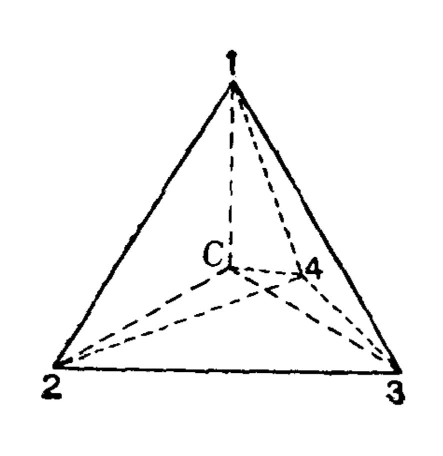


图　8

1832年，李比希与韦勒指出：在许多情况下，一个复杂的原子团（后来叫做“基”）通过化学作用在一系列化合物都是紧紧抱成一团的，就象一个元素的原子一般。例如氢氧基 OH，不但发现于水中，就是在一切苛性碱类与醇类中也一样存在。此外在有机化学与生物化学里还可找着无数的复杂的基，而且是有机化学和生物化学的反应所必需的。

从基的观念自然而然要走到构型的理论。这个理论是罗朗

(Laurent) 与杜马 (Dumas) 提出的。在 1850 年以后，又由威廉森(Williamson)与热拉尔(Gerhardt) 加以发展。化合物可按照它们的构型分类，例如氧化物可以看做是在水型的基础上构成的，氢原子的一部或全部被同价的原子或原子团所置换。这种基与型的观念代替了柏采留斯的电性二元论。 256

构成生物机体的无数有机物逐渐被分离出来，在十九世纪后半期又按其元素用人工方法合成出来。它们都是以下三类化合物的某一类的成员或其衍生物：

(1)蛋白质，含碳、氢、氮、氧，有时还有硫与磷。

(2)脂肪，含碳、氢与氧。

(3)碳水化合物(糖类)，含碳、氢、氧，氢和氧的比例和它们构成水的比例一样。

在这三类化合物中，蛋白质的化学结构最复杂，主要的基础是氮。它们容易分解为许多大致相同的成分，一般叫做氨基酸，含有氢、氮二元素结成的氨基 NH_2。这类酸中有许多在十九世纪里被分离出来，并加以化学的检验。它们的结构是多样的，但都具有一个或多个酸性碳氧基 (COOH 学名“羧基”) 和一个或多个碱性的氨基，所以它们同时具有酸、碱两性。各种有机体中发现的各种蛋白质，即是许多氨基酸以不同的比例所构成的。

1883年，库尔蒂斯 (Curtius) 用人工造成一种物质，其化学反应与蛋白质产物相同。跟着，费舍研究了这种物质与类似化合物的结构。他发明了几个方法来使氨基酸结合成复杂的物体。这种物体同消化酶作用于蛋白质而造成的蛋白胨很相象，这些物质就叫做“多肽物”。这样，在十九世纪结束以前，在测定生物机体的组成成份的性质方面，甚至在合成这些成分方面，都有相当的进步，但对于更复杂的蛋白质，仍然了解得很少。

生理学

十九世纪生理学上最早的观念之一就是，身体的生命是组成身体的各个组织的生命的总和结果。比夏(Bichat，1771—1802年)提出了这个理论，并且在弄清这些组织的特性方面有很多贡献。他以为在生命中，生活力与物理和化学的力量经常在斗争之中，后两种力量在生物死后，就重新主宰一切而毁灭了生物的躯体。

257 有些个别的观察已经说明大脑的各种功能各有一定的部位。例如1558年，威尼斯的马萨(Massa)注意到左眼后面的部位受伤可以妨碍说话的功能。哈勒(Haller)[①]以为神经在脑髓中有一个共同的会合点，但迟到1796年，有资格的解剖学家仍然把脑室里的流体与盖伦的“动物元气”和亚里斯多德的“感官交会所”或“灵魂的器官”混为一谈。这种理论最后为先在巴黎、后在维也纳行医的加尔(F.J.Gall，1758—1828年)的解剖所驳倒[②]。他把马萨的见解加以发扬光大，揭示了大脑的真正构造，并说“灰质是神经系统的活泼而必不可少的工具，白质只是联系的链条而已”。加尔被人指责为唯物主义者。他坚持遗传的重要，尤为人所不满，因为遗传一说和当时教会的道德责任观念是抵触的。他习惯于把无可置疑的事实与谬误丛生的学说混合在一起，这就给他招来更多的纠葛。他所辞退的助手斯珀茨海姆(Spurzheim)根据他对于大脑各部位功能的研究结果建立了荒唐的“脑相学”，因而使人以为加尔本人也不过是一个走江湖的骗子。但现代脑神经学仍然是建立在加尔的研究成果的坚实部分之上的。

比夏所主张的活力论，为另一位法国生理学家马让迪(Majen-

---

① 见前187页。

② G. Elliot Smith 在*The Times*, August 22nd, 1928上的文章。

die）所修改。他以为生物的某些现象是一种不可解的生命原质造成的。自1870年以后，马让迪对于他认为适于用实验方法研究的问题进行了辛勤的研究，有不少成就。他反对当时流行的理论观点，崇拜实验，甚至盲目的实验；当时采用培根的实验方法的人很少，他却是一个。他证明脊神经的前后根功能各异，正如贝尔（Charles Bell）爵士所推测的那样，——这是神经系统生理学上的一个基本发现。马让迪还创立了研究药物效应的实验药理学，而且证明血液在血管里流动的主要原因是心脏的抽唧作用。

笛卡尔与他的学生以为由神经纤维传达到中枢的刺激会自动地变成向外去的神经冲动，而激发适当的器官或肌肉，这样，人体便成了一副机器。医疗学派接受了这个观点。贝尔、马让迪与霍 253 尔（Marshall Hall，1790—1857年）等人对这问题提供了不少的证据。霍尔把随意的反射作用与无意识的反射作用区别开来。许多生活中的寻常动作如咳嗽、喷嚏、行走、呼吸都可以看做是反射，另外还有许多动作，从前认为包含复杂的心理作用，到十九世纪末年，人们，特别是夏尔科（J. M. Charcot，1825—1893年）与他的学生才把这些动作划归到反射作用去。到了二十世纪，在这些问题上更积累了不少的证据。

十九世纪初年，德国最著名的生理学家是约翰内斯·弥勒（Johannes Müller）。在他的名著《生理学概论》中，他搜集了当时所有的生理知识。他对于神经功能也进行了不少研究。他有一个很有效果的发现：我们经验哪一种感觉，与刺激神经的方式无关，而只取决于感官器官的性质；例如光、压力或机械的刺激，作用于视神经与视网膜时，同样产生光亮的感觉。自从伽利略的时代以来，哲学界就相信，人们单凭感官是无法真正认识外界的。弥勒的发现给这一信念提供了生理学的根据。

不管这种研究多么成功，就是用物理与化学的实验方法来推进生理学的人们也往往感觉有许多问题是这些方法所不能奏效的。此外，还有一些人把主要兴趣放在形态学方面。他们采取更加彻底的活力论的观点。在法国特别是这样。在那里尽管有马让迪的实验工作，但科学界研究自然历史的气氛比研究生理学的气氛更浓一些。博物学家居维叶(Cuvier)的影响也有利于活力论。

马让迪的有名学生是克劳德·伯纳德(Claude Bernard，1813—1878年)①。他在实验才能上不亚于他的老师，认识到在设计实验室工作时需要心思与想象力。伯纳德所研究的主要是神经系在营养与分泌上的作用。他进行这项工作时一面采用实验方法，一面进行直接的化学研究。他的工作成为现代生物化学的许多成果的先声。

在弥勒的书中，食物在胃里所经过的化学变化就仿佛是消化的全部过程。1833年，美国陆军外科医生博蒙特(Beaumont)发表了有关消化的许多新事实。这些事实都是他从一个受了枪伤、胃上留有一个孔穴的病人身上观察到的。伯纳德也在动物身上造成同样的情况，证明胰液可以把由胃进入十二指肠的脂肪分解为脂肪酸与甘油，把淀粉转化为糖，并溶化含氮物质或蛋白质。

259

杜马与布散果耳(Boussingault)认为植物与动物的功能完全相反。植物吸收无机物，制造有机物。动物本质上带寄生性，靠了把有机物变为无机物，至少是变为比较简单的残滓而生活。动物吸取有机食物，有时略加改变，但他们认为动物绝不能制出脂肪、碳水化合物或蛋白质。伯纳德用狗作实验，证明肝在神经控制的内分泌影响下，可从血液制成葡萄糖。1857年，他又用实验证明肝在

① Michael Foster, *Claude Bernard*, London, 1899.

活着时能生成一种类似淀粉的物质，他叫做肝淀粉或糖元，经过与生命无关的酵解后，即成葡萄糖。这样，他使人明了了糖尿病的性质，并指出动物也能制成某些有机物质。

伯纳德的第三个大发现便是所谓血管舒缩神经的功能。这种神经可以在感官冲动的刺激下产生不随意动作，以控制血管。他是由于研究一种神经的节引起的"动物热"，而发现这种功能的。后来事实证明，所谓动物热实际是由于血管的扩张而产生的。福斯特(Foster)说："任何稍具广度的生理学讨论都迟早难免要遇到血管舒缩问题"；这些问题是由于伯纳德在一个活的动物身上进行一次简单实验而产生的。"假使伯纳德生在今天的英国，这个实验可能要遭到禁止，这样，他的工作成果……在出生前就要被扼杀了。"从历史上可以很明白地看出：有关重要器官与身体各种功能如循环、呼吸、消化的基本知识，现代生理学、现代医学与现代外科所依赖的知识，都是由于在动物身上进行实验而得来的。不准用这个方法增进知识的人，应负很大的道德责任，即令他们不了解事实或不了解这种实验牵涉多么重大的问题，他们的责任也丝毫不能减轻。

神经系统的研究为韦伯兄弟(E. H. and E. F. Weber)所推进。他们发现了抑制作用，如刺激迷走神经而使心跳停止之类。

1838年，马格纳斯(Magnus)对于呼吸获得进一步的知识。他指出动脉和静脉管中的血均含有氧与二氧化碳，但其比例不一样。他以为气体是溶解在血液中的，但在1857年迈耶尔证明这两种气体与血组成一种松弛的化合物。伯纳德指出一氧化碳的毒性作用是由于它从红血球的血红蛋白里将氧气不可回复地置换了，因此血红蛋白不起作用，再不能将氧气输送到身体的组织中去了。 260

哈维在1651年出版的《动物的生殖》一书中，已经把观察的胚

胎学放在正确的基础之上，但真正开辟了现代发展的人是沃尔弗(Caspar Frederick Wolff,1733—1794年)。他生于柏林，死于圣彼得堡，应俄国女皇叶卡特林娜之召到了那里。在沃尔弗生前，他的研究成果被人怀疑与忽视，但事实上他却开创了现代一切结构理论的先河。他用显微镜研究过细胞，指出怎样从一个原来性质纯一的胚子逐渐分化而形成各种器官。

冯·贝尔(von Baer，1792—1876年)指出细胞的增殖与分裂是一切胚胎发展的共同过程，后来更认识在整个动物界里，发育都是按这个过程进行的。1827年，冯·贝尔再度发现克鲁克香克1797年所看见的哺乳动物的卵子，从而推翻了每一卵子都包含具体而微的小动物的旧说。我们可以说冯·贝尔创立了现代胚胎学[①]。他批评了梅克尔(Meckel，1781—1833年)关于"个体历史是种族历史的重演"的理论；这个假说得到过早的承认，使胚胎学在十九世纪末年成了研究进化论者喜用的方法。当时，人们以为这个方法在个体历史中可以发现某些事实，而用另外的方法，只有经历无穷的困难，在动物界中进行广泛的比较调查，才能得到这些事实。

生物结构的细胞理论开始于十七世纪[②]。胡克在显微镜里看见了"小匣或小室"，跟着雷汶胡克、马尔比基(Malpighi)、格鲁(Grew)等人也有同样的发现。但大进展发生于十九世纪初期，那时米尔伯(Mirbel)、杜特罗舍(Dutrochet)与他们的追随者逐渐将细胞理论奠定成形，而且按照从有核胚胎中产生的细胞不断分裂

261

① E. Nordenskiöld, *The History of Biology*, Eng. trans. London, 1929, p. 363; G. Sarton, *Isis*, Nov. 1931.

② Woodruff, Conklin, Klarling: *American Naturalist*, vol. LXX■, pp. 481 and 517.

过程研究了植物和动物组织的形成。细胞理论是很多研究者的集体成就。

杜宾根(Tübingen)的冯·莫尔(Hugo von Mohl)研究了细胞的内容，并将细胞膜内的粘性物叫做原形质。冯·耐格里 (Karl von Nägeli)发现这种物质含有氮元素。舒尔茨(Max Schultz)把事实综合起来而形容细胞为“一团有核的原形质” 并主张原形质是生命的物质基础。

柏林的微耳和(Rudolf Virchow, 1821—1902年)将细胞理论应用于病理组织的研究，而在医学上展开了一个新的篇章。他在《细胞病理学》(1858)一书中指出，病态结构是由原有的细胞变化而来的细胞组成的。例如癌有赖于细胞的病理发育，如果能找到一种治疗的方法，它就必须建立在控制细胞活动的方法的基础之上。

与扩大化学范围把许多生命变化包括在内的同时，在把物理学的原理应用到生理学问题方面，也取得很大的进展。哈维在解释血液循环时认为，血液靠了心脏的机械作用，被压到动脉和静脉里去；这个学说赋予生理学的研究以自然主义的色彩。但到十八世纪的后半期，由于这个问题非常困难，活力论的假说又普遍地被人采用；法国学派的“超机械力”到十九世纪中期还维持着它的影响。以后，意见就开始改变。这种局面最初是有机化合物的合成和我们叙述过的生理学方面的研究成果促成的，后来又为物理学方面的研究成果所加强：路德维希 (Karl Ludwig) 在生理学中使用了物理仪器；迈尔与赫尔姆霍茨的工作表明，能量守恒的原理必定也适用于生物机体。

许多人认为这是非常可能的，没有证明的必要，但在许多年后，这一点才得到精确的实验证明。李比希的确说过动物热不是

天生的，而是燃烧的结果，但直到有人把各种食物放在量热器里燃烧测定其热值以后，才得到定量的证明。1885年，鲁布纳(Rubner)测定蛋白质与糖类的热值为每克4.1卡，脂肪为9.2卡①。1899年，阿特沃特(Atwater)与布赖恩特(Bryant)发表了他们在美国所进行的更广泛的实验的结果。他们扣除了各种食物中不能消化部分，对鲁布纳的数字加以修正：蛋白质与糖类的热值为4.0卡，脂肪为8.9卡。一个从事重劳动的人每日所需的食物的燃料值为5,500卡，而不用肌肉工作的人，每日所需的食物的燃料值仅为2,450卡。伍德(T. B. Wood)等人新近对农场牲畜的研究，又把食物分为维持量(即动物存活所需的食物)，与增加量(即为发育与产乳所需的食物)两类。

262

要研究能量不灭的问题，我们就必须测定从食物中输入的能量与肌肉作工发热及排泄时输出的能量。鲁布纳在1894年对狗身上的输入和支出作了估计，算出这两个量出入在0.47%之内。1901年，阿特沃特、罗莎(Rosa)与本尼迪克特(Benedict)在人体上进行实验。他们的结果说明，两数出入在千分之二以内。脑力活动与其他没有计入的活动，很可能也需要能量，但其数值必然很小。

这种大体上符合能量守恒原理的结果说明，人体的体力活动归根结蒂应溯源于所摄入的食物的化学能量与热能量。由此，我们可以得出一个即使不严格符合逻辑也是十分自然的结论：能量的总输出额既然符合物理定律，那末中间过程当然也可以完全用这些定律来描述。

这种自然主义的观点不但因为许多观察者的工作证实了细胞理论而进一步巩固下来，而且还由于其他研究而进一步巩固下来，

① 这里指的是"大卡"，即将1公斤的水升高1℃所需的热量，等于物理学上所用的单位的1,000倍。

其中包括关于细胞结构与功能的研究。人们很快就把与胶体物质有关的物理现象的知识应用到生理学的问题上去，同时还发现神经作用的现象总是伴有电的变化。

事实证明，有许多种以克汀病得名的先天白痴，是甲状腺功能衰退造成的。1884年，希夫(Schiff)发现，如果用甲状腺素饲喂动物，可以防止切除甲状腺的后果。这个结果不久就应用于人体，使许多从前本来会以白痴终身的儿童，都成长为快乐而有智慧的人。

由于用科学方法说明了许多人体的生理过程，十九世纪中叶机械哲学愈见盛行。于是人们就产生了这样一个信念：生理学不过是“胶体物理学和蛋白质化学”的一种特殊情况。不管整个生理学问题以及构成这个问题的基础的心理学和形而上学的问题的真 263 相怎样，有一点是很明显的：为了促进孤立地研究自然界的个别部分或方面的科学，我们必须假定生理的过程，在细节上也是可以了解的。要增进知识，就必须应用已经确立的自然原则，而从科学的有限观点来看，物理学与化学的基本观念与定律实在是自然原则的最好的终极陈述。这种分析的方法与观念是否足以解决整个动物机体的综合问题，那是另外一个深奥得多的问题。举一个极端的例子：有一个学说，说人的心灵运用身体，就象音乐家运用乐器一样，即使乐器也不过是一种物质的结构而已。

在十九世纪的第三个季度里，人们已经由研究同无机化学里催化作用相似的催化作用，进而去研究在生物机体中进行的许多过程。到1878年，有机催化剂或酵素在生物化学上已经具有很大的重要性，那一年在阐明它们的作用方面有很大贡献的库恩(Kühne)，给它们起了一个特殊的名称：“酶”（希腊文 ἐν ζύμῃ “在酵母内”）。催化剂或酶的主要性质是，它象滑油之于机器那样，能促进

化学反应，增加其速度，而自己却不作为一个组成成分加入最后平衡的物质。酶常是胶体物，并带有电荷，这也许是它们的作用的一个原因。事实上，1887年，阿累利乌斯已经指出离子自身便有催化作用，在蔗糖的旋转中就是这样。1904年和以后几年，柯尔(Cole)、米凯利斯(Michaelis)与索伦森(Sörensen)研究了离子对于胶状酶的影响。有机变化的过程常需特殊的酶。有些酶分量极微，只有凭它们的特殊反应才能把它们发现出来；另外一些可以分离出来加以研究。比较重要的酶有如下几类：分解淀粉的淀粉酶，在酸液中分解蛋白质的胃蛋白酶，在碱液中分解蛋白质的胰蛋白酶，以及分解酯类物的脂酶等。虽然在生物体内，酶的最明显的作用，是促进复杂的物体使其分解为比较简单的成分，可是它们的作用是可逆的。它们只在化学变化的进行方向上，促进其反应的速度。

微生物与细菌学

264

十九世纪生物学最惊人的发展之一，是人们对于动植物和人类的细菌性疾病的来源与原因的认识大大增进。这种认识由于能增加我们控制环境的能力，因而和其他科学的实际应用一样，也显著地影响了我们对于人与“自然”的相对地位的看法。1838年左右，德拉托尔和施旺发现发酵过程中的酵母是一些微小的植物细胞，而发酵液体中的化学变化在某种程度上是这些细胞的生活造成的。施旺还发现腐败也是一个类似的过程。他指出如果我们设法用加热的方法把所有与受检查的物体相接触的活细胞都毁灭净尽，并且以后只让它和经过赤热试管的空气接触，则发酵与腐败都不会发生。这样他就证明了发酵与腐败都是活着的微生物的作用造成的。

这些结果在1855年前后又由巴斯德加以证实与发挥。他认为

每一个已知的自然发生的例子，都不是事实。他指出细菌的存在都是因为有细菌从外面进来，或者里面原来就有细菌，后来才发育起来。巴斯德证明某些疾病如炭疽、鸡霍乱与蚕病就是由特种微生物造成的。后来许多别的疾病所特有病菌也发现了，它们的生活史也考查出来了，其中有许多疾病是人类中间流行的疾病。

利斯特(Lister)在1865年听说巴斯德的实验，到 1867 年就把这一成果应用到外科手术上去。他先是用石碳酸(酚)作为防腐剂，以后又发现清洁是一种有效的防腐方法。由于利斯特把巴斯德的研究成果应用于外科，再加上戴维爵士、马萨诸塞(Massachusetts)的莫顿(W. T. G. Morton)与爱丁堡(Edinburgh)的辛普森(J. Y. Simpson)爵士以前所发现的麻醉剂，外科手术就达到前此所未能达到的安全地步。这些发现在卫生、内科与外科方面所产生的效果，极其明显地表现在城市居民死亡率的降低上。如伦敦在二百年前每年的死亡率是千分之八十，而1928年则降低到千分之十二。

1876年，科赫(Koch) 发现炭疽杆菌的孢子的抵抗性比杆菌本身更强。1882年，科赫又发现了造成结核病的微生物。大大发展了细菌学的技术，使它成为公共卫生与预防医学所必不可少的一种艺术与科学的，就是科赫。特殊的微生物，一经分离之后就可以让它们在明胶或其他媒介物的纯粹的培养液里自行繁殖。然后就可以在动物身上测定这些细菌的病理效应。 265

人们发现，至少在有些情形下，与微生物细胞的生命有关的某些变化所以产生，是因为微生物细胞里有某种酶，或者是由于微生物细胞的活动而产生某种酶。1897年，毕希纳(Büchner)从酵母细胞内分离出了特种酶，并表明这种酶与活的酵母细胞相同能引起同样的发酵作用。这种酶的作用与一般的情况相同，反应完成之后，酶仍不变；单单它的存在就足以引起和促进化学反应。

1718年，蒙塔古(Mary Wortley Montagu)夫人从君士坦丁堡传入天花病的接种法①。十八世纪末，杰斯提(Benjamin Jesty)根据一般人的信念，认为患过轻微牛痘的挤奶姑娘不会感染天花，英国柏克利乡间医生詹纳(Edward Jenner)用科学方法去研究这个问题，而发明了种痘的方法。他将病毒放在小牛体内，待其作用减弱时，再将痘浆注射于人身，使人得减轻或完全避免这种疾病的危害。这一发现开创了免疫学的研究。病原体产生有毒的物质或毒素。这种毒素是1876年首先在腐败物内发现的。1888年人们可用过滤培养液的方法，从细菌得到毒素。就白喉病而言，我们先从其细菌培养液取得毒素，然后把这种毒素逐渐加多地注射入马体内，马的组织内即制成一种抗毒素。由免疫的马血制成的血清，可以保护与病菌接触过的人和帮助已经患白喉病的人恢复健康，此外，用病菌的消毒培养法，我们可以制出各种疫苗，使人们对活的病菌所造成的各种疾病部分的或完全的免疫。1884年，梅契尼科夫(Metschnikoff)发现“食菌细胞”(白血球)，具有消除致病性细菌的功能。

伯登-桑德森(Burdon-Sanderson)与巴斯德等把詹纳的毒素减弱的原理推广应用，去治疗其他疾病。巴斯德证明狂犬病或恐水病，就是在已经感染以后注射，一般也是有效的。这个可怕的、从前认为无法治疗的疾病，经注射后死亡率减少到百分之一左右。显微镜下看不见有细菌。这种病是一种比一般细菌小得很多的病毒所造成的。

病原微生物的生活史常常是很复杂的，有些病原微生物在不

① 我国的人痘接种方法于十七世纪传入欧洲，这里作者没有作进一步的探溯。——译注

同的寄主里度过其生活的几个阶段。只有通过给活动物接种的极 266 周密的实验，才有可能研究它们的性质。有些寄主有时并不感受侵入的微生物的影响，这就使我们在研究感染的来源时遇到极大困难。人们最后战胜疟疾的经过是研究传染病时所遇见的困难与危险的最好的例子①。疟原虫是法国军医拉维兰 (Laveran) 在1880年左右发现的。五年后意大利人观察到人们感染疟疾是由于被蚊虫咬伤。1894—1897年间，曼森(Manson)与罗斯(Ross)证明一种特殊的蚊虫(*Anopheles*，疟蚊类)身上有一种寄生虫，这种寄生虫就是疟原虫的幼虫。因此，防治疟疾的正确方法就是毁灭蚊虫的幼虫。而要毁灭蚊虫的幼虫，就需要把沼泽地带的积水排清，或用油膜覆盖于静水的池沼上面，以防止其生长。

同样，人们也查明马尔他病或地中海热，是一种微生物的作用造成的。这种微生物的一段生命寄生在山羊体内，由羊乳传染到人，可是山羊却不生病。人们还发现黑死病(鼠疫)与鼠、蚤及其他传递疫菌于人的寄生虫有关。这是病菌通过间接途径进入人体的又一例子。只有明了这些病菌的生活史之后，防治的斗争才能收到最好的成效。

1893年，莱夫勒(Löffler)与弗罗施 (Frosch) 最先透彻地研究了超显微镜的病毒。他们指出患口蹄疫的动物的淋巴液经过可以隔离一般细菌的滤器后，仍然可以使其他动物感染疫病。他们断定所处理的对象，不是无生命的毒质而是能生殖的微小机体。我们至今还不能断定这些超显微镜的可滤过的、可以使动植物感染，很多疾病的病毒，究竟是不是粒子状的细菌。无论如何，它们的大小，必与分子接近，有人以为它们是一种非细胞的新型的有生

① *Angelo Celli-Malaria*, Eng. trans., London, 1901.

命的物质。

碳氮循环

267

我们再来谈呼吸的问题。拉瓦锡与拉普拉斯证明动物的生命需要碳和氢经氧化而成二氧化碳与水。1774年，普利斯特列发现，如果把绿色植物放在小鼠“弄坏”过的空气停一个时候，这种空气就可以再一次恢复维持生命的功能。1780年，英根豪茨(Ingenhousz)证明植物的这种作用只有在日光下才能发生。1783年，塞尼比尔(Senebier)表明这种化学变化是把“固定下来的空气”变成“脱燃素的空气”，即由二氧化碳变成了氧。1804年，德·索热尔(de Saussure)对这个过程作了定量的研究。这些结果启发李比希进行研究，并提出一个概括的理论，说碳元素和氮元素在动植物交互生长与腐败的过程中，必经过循环的变化过程。

帮助植物增殖的活性物质是叶绿素。它的化学结构与在日光下的化学反应都很复杂，现在还不十分明瞭。但是它有一种能力，是地球上我们所看到的生命所必需的：它能利用日光的能量去分解空气中的二氧化碳，释出氧气，使之与植物组织的复杂有机分子里的碳相结合。在叶绿素的吸收光谱中，最大吸收量的位置恰与太阳光谱中最大能量的位置相合，这样一种手段与目的的适应，不管是怎样产生的，毕竟是很奇妙的。

有些动物靠食用植物过活，也有一些动物靠吃其他动物维生，因此，一切动物都是依赖叶绿素所收集到的太阳能量生活的。动物呼吸时，将碳化物氧化为有用的衍生物与排泄物，同时靠氧化所发出的其余能量维持体温。植物也慢慢放出二氧化碳，不过在日光中这种变化为具逆向的反应所掩蔽而已。植物与动物都把植物吸取的二氧化碳归还给空气中，无用的有机化合物就堆积在土中。在

这里它们为无数土壤细菌所分解，变成无害的无机物，同时将更多的二氧化碳倾注于空气中。这样就完成了碳的循环。

与此相当的氮循环是较近的发现。罗马诗人味吉尔在其《农事诗》里，已经劝告在种麦之前须种黄豆、紫云英或羽扇豆。这种作法的好处是大家都知道的。但是其中道理直到1888年经过赫尔里奇尔(Hellriegel)与威尔法斯(Wilfarth)研究方才弄明白[①]。豆科植物根上的瘤藏有一种细菌，能固定空气中的氮，用我们不知道的化学反应，把氮变成蛋白质，然后输送到植物里去。1895年，维诺格拉兹基(Vinogradsky)寻出另外一个过程：土中细菌直接由空气中得到氮，其所需要的能量大概是由死植物的纤维分解而来的。 268

植物可以从这两种来源得到氮。含氮的废物，主要是在土壤中适宜的细菌的帮助下，变成氨盐，最后变为硝酸盐。这是植物制造蛋白质所需要的氮的最好来源。土壤是物理的、化学的与生物的混合体，主要是胶体。为了维持它的平衡，它既需要从动植物腐败而来的有机盐，也需要从矿物而来的无机盐。

李比希说明了矿物盐在农业上的重要性，但他忽略了氮的极端重要性。十九世纪中叶，这个问题才由布散果耳(Boussingault)以及吉尔伯特(Gilbert)和劳斯(Lawes)在罗森斯特德(Rothamsted)实验站加以研究；他们的研究成果成了现代人工施肥的基础。植物生命不可缺少的元素是氮、磷与钾，但这些元素通常只有极少量。如果这些元素的一种分量过少，农作物的收成必受限制。只有按照植物能利用的方式添加不足的元素，植物才会自由生长起来。微量的其他元素，如硼、锰与铜，也是植物所需要的。

人工施肥的科学研究使农民在耕作方法上得到更大的自由。

---

① Sir E. J. Russell, *Soil Conditions and Plant Growth*, 4th ed.London, 1921.

当人们可以把农作物所吸取的元素还给土地来维持土地的肥沃性的时候，旧日的轮种和休种方法就可以大大改变了。

自然地理学与科学探险

在十八世纪后半期和整个十九世纪，系统的世界探险工作进行得很快，而且大部分是在真正科学精神下进行的。1784年，英国军需部在洪斯洛荒地(Hounslow Heath)测定基线，开始利用三角学进行测量。这样，法国地图学家丹维尔(d' Anville)所创始的精密地图和海洋图就都有可能绘制出来了。

我们应当叙述一下普鲁士博物学家和旅行家洪堡男爵(von Humboldt，1769—1859年)的工作。他最喜欢住在巴黎。在那里，他协助盖伊-吕萨克完成气体的研究(见211页)。他花了五年的时光在南美洲及墨西哥海湾的海上与岛上探险。根据这次旅行所得的观察结果，他认为应该把自然地理学与气象学当做是精确的科学。洪堡首先在地图上绘出等温线，因而得到一个比较各国气候的方法。他攀登过安第斯山脉的琴博腊索山(Chimborazo)与其他高峰，以观察温度随海拔增高而降低的比率。他研究了赤道带暴风与大气扰乱的起源；他研究了火山活动带的地位，认为火山活动带与地壳的裂缝是符合的。他调查了动植物在自然条件影响下的分布情况；他研究了从两极到赤道地磁强度的变化，并且创造了“磁暴”这个名词来描述一个他首先加以记录的现象。

269

洪堡的劳动与人格引起人们很大兴趣，从而推动了欧洲各国的科学探险。1831年英国派出“猎犬号”(the *Beagle*，或音译为“贝格尔号”)进行了一次有名的航行，“完成了巴塔哥尼亚(Patagonia)与火地(Tierra del Fuego)的测量；又测量了智利、秘鲁的海岸和太平洋上一些海岛；并且进行了定期的环球联测”。当时宣布，

这次航行“纯粹是为了科学的目的”，达尔文就以“博物学家”的身分，在这艘船上服务。

几年以后(1839年)，有名的植物学家胡克(W.J.Hooker)爵士的儿子约瑟夫·胡克(Joseph Hooker，1817—1911年)加入了罗斯(James Ross)爵士的南极探险队，在那里花了三年时间研究植物。后来他又参加一个政府资助的远征队，到了印度的北边。1846年，赫胥黎(T.H.Huxley)离开英国，在“响尾蛇号”船上做外科医生，在澳大利亚海上进行了几年测量与制图工作。他生性热情，观察力锐敏，常常因为没有机会从事普遍感兴趣的精密科学研究而慨叹。这样，在十九世纪思想革命中起了重大作用的人物当中，就有三个在科学探险的航行中当过一个时期的学徒。有组织的发现与研究的最高潮是“挑战者号”(the *Challenger*)的远征。这艘船于1872年出发，在大西洋与太平洋上游弋几年，记录了有关海洋学、气象学及自然历史各个部门的资料。

海洋学尤其变得重要起来。美国海军部的莫里(Maury)研究了一个半世纪以前丹皮尔(Dampier)所留下来的有关风和洋流的问题，对于海上路线航行作了很大改进。海上的集群生物具有无数的形态，有显微镜下才看得见的、经亨森(Henson)命名的浮游生物、原生动物、变成海底软泥的放射虫的骸骨，还有各式各样大小的鱼类；它们的生活迁徙部分地以浮游生物为转移，因为有些鱼群以这些生物为饵料，常追随它们而游行。

地质学

拉普拉斯由于企图提出一个合理的学说来说明太阳系的起源，就促使人们注意到这个问题并激发了人们把地球当做太阳系的一部分加以研究的兴趣。不幸，在不顾教皇的无上权威，思想自由

最为盛行的国家,《圣经》文字的权威也最为深入人心。所以在《创世记》以外任何有关地球起源的看法，必须经过一番新的斗争，才能得到一般的承认。就是在十九世纪中期，还有人认真地说化石是上帝(或魔鬼)埋藏在地下，以考验人们的信心的，但是我们都知道化石告诉我们的是另外一套故事。

从很早的时候以来，在开矿的过程中，人们就得到一些有关岩石、金属与矿物的知识。正象一些希腊哲学家那样，达·芬奇与帕利西(Palissy)已经认识到化石是动植物的遗体，但是一般人却以为化石是"造物的游戏"，是一种神秘的"塑形力"——自然界以各种方法创造所喜爱的形式的倾向——的产物。只有个别的观察者，如斯坦森(Niels Stensen,1669年)，才认识到我们可以利用化石来探索地球的历史，但这种看法没有得到一般人的接受。伍德沃德(John Woodward,1665—1728年)赠给剑桥大学的大批化石大有助于证实化石来源于动植物的看法。1674年，佩劳尔(Perrault)证明地上的雨量足以解释泉水与河流的来源而有余[①]，盖塔尔(Guettard,1715—1786年)说明风化怎样改变了地球的面貌。虽然如此，仍然有人对事实加以曲解，以附会圣经中关于天地开辟时有洪水或大火的说法，而有水成派与火成派的争论。

首先有系统地和这种观点作斗争的是在1785年发表《地球论》的赫顿(James Hutton,1726—1797年)。这一次又是对自然过程的实际认识，铺平了科学前进的道路。赫顿为了改进他在柏韦克郡(Berwickshire)的农场，先在诺尔福克(Norfolk)研究本国农业，再到荷兰、比利时与法国北部学习外国的农业方法。他对人们所熟悉的沟、坑、河床等熟思了十四年，然后回到爱丁堡，奠定现代地

271

① F.D.Adams, *Science* LXVII, p.500,1928,引用在*Isis*,No,XIII, p.180,1929。

质科学的基础。赫顿认为岩石的层化与化石的埋藏现今仍在海、河、湖沼之内进行。赫顿说："不是地球固有的因素不予使用，而且不了解其原理的作用不予承认"——这是一句真正的科学格言，因为它力求避免一切不必要的假设。

一直到沃纳(Werner)指出地质岩层有规律地相继出现以后；一直到斯密斯 (William Smith) 根据化石的窖藏算出岩层的相对年龄以后；一直到居维叶根据在巴黎附近发现的化石与骨骼、重新构成久已绝迹的哺乳动物以后；一直到拉马克 (Jean Baptiste de Lamarck)比较现今的介壳和化石的介壳，而加以分类以后；最后一直到赖尔(Charles Lyell) 爵士把说明水、火山与地震等因素至今仍在改变地球的证据以及有关化石的事实，都收罗在他的《地质学原理》(1830—1833)之内以后，赫顿的"天律不变学说"才得到普遍的公认。长期不断的过程所积累的效果第一次为人类所充分把握；人们觉得利用岩石的记录，印证眼前仍在进行的自然作用进行推理，我们可以寻出地球的历史，至少可以寻出地球上有生物的一段时期的历史。

化石的生态说明生命在各确定的时期里有很大的改变。这与阿加西斯 (Agassiz) 与巴克兰德 (Buckland) 在 1840 年左右最先收罗到的关于冰河作用的地质证据是符合的。这些地质证据可以说明各个冰期。

人类的起源与年龄的问题是人类特别感兴趣的问题。由于发现原始人所用的石器，由于在现今欧洲已绝迹的动物遗骸附近发现兽骨和象牙雕刻，赖尔才得以在1863年确定人类在生物的长系列中的地位，而且指出人类在地球上存在的时期比公认的圣经年代学所说的年代要长得多。现在看来，很可能，我们的祖先摆脱比较原始的状态成为真正的人，约在距今百万至千万年之间，而文明

不过是五千至六千年间的事。

272

自然历史

在布丰发表了他的巨著《动物的自然历史》以后，又有一位法国人对分类问题进行研究，把分类法放在坚实的基础之上。乔治·居维叶(Georges Cuvier,1769—1832年)是一新教教士的儿子。他父亲从朱拉(Jura)迁居符腾堡(Würtemberg)保护国境内。在法国革命初期和恐怖时代，他在诺曼底(Normandy)安静地学习，随后到巴黎，即在法兰西学院得到一个重要的位置。他的特殊贡献在于，他在博物学家中最先对现在的动物的构造和古代化石的遗骼加以系统的比较，从而说明在研究生物发展的时候，过去与现在应当同样注意。居维叶站在科学发现的新时代的门口。他的主要著作《按其组织分布的动物界》(*Le Règne Animal, distribué d'après son Organisation*)，是两派人的研究成果之间的桥梁。一派人把世界及其现象当做是静止的问题加以研究，一派人把世界及其现象当做是一出巨大的进化戏剧中一系列变动不已的场景加以研究。

不幸，科学家与从事实际工作的花匠和农民之间缺乏密切的联系，后者用杂交与选种的方法不断培育出许多动植物的新品种，或把已有的品种加以改良。十八世纪末，贝克韦尔(Bakewell)把长角羊改良为新的有用的勒斯特(Leicester)种。科林(Colling)兄弟应用贝克韦尔的方法改良了提斯(Tees)山谷的短角种，这样就培育出最重要的英国羊种。

巨大变异的自发出现，是园艺家们都熟知的事实：

例如，一种变种梨会忽然生出一支结满优良水果的枝条来；山毛榉会莫名其妙地长出绿叶扶疏的枝干；山茶会开出意料不到的好花。如将它们从母

树取下插枝或嫁接，这种变种可以长久维持下去。园圃中的许多花卉与果木的品种便是从这样得来的①。

园艺家所培殖的新品种，多数是由不同品种甚至种的个体杂交而来。在后一情况下，我们晓得杂交的结果常比纯种生育不蕃，有时简直不能生殖。

达尔文以前的进化论

自然界处在进化过程中的观念至少可以上溯到希腊哲学家的时代。赫拉克利特认为万物皆在 273 流动状态之中。恩培多克勒说生命的发展是一个逐渐的过程，不完善的形式慢慢地为较完善的形式所代替。到了亚里斯多德的时候，思辨好象更进一步，以为较完善的形式，不但在时间上来自不完善的形式，而且就是从不完善中发展而来。原子论者常被称为进化论者。他们好象认为每一物种都是重新出现的。但由于他们相信只有与环境适合的物种才能生存，他们在精神上已经接近自然选择说的实质，虽然他们的事实根据还不充足。有人说得对："在科学中没有充分考虑到有关事实的意见，不能借口正确而固执不舍。"象在其他许多知识领域中一样，希腊哲学家所能做到的，只是提出问题，并对问题的解决办法进行一番思辨性的猜测。

事实上，花去了两千年时间，花费了无数沉静而不关心哲学的生理学家与博物学家的心血，才收集到足够的观察与实验证据，使得进化观念值得科学家加以考虑。博物学家大半都把进化观念留给哲学家去议论，而且在达尔文与华莱士(Wallace)发表他们同时得出的研究成果以前，科学界的意见就发表出来的而言，倒是反对

① Art."Horticulture", in *Ency. Brit.* 9th ed. 1881.

进化论的。这是在资料不确凿时暂不下判断的真正科学态度的很好例证。另一方面，哲学家也尽了他们的本分，因为他们对于一个还不能交给科学家处理的学说，不断地提出思辨性的见解。他们对一个极其重要的问题始终不作最后决定，然而又提出解决的方案。到相当的时候，这种解决方案可以成为科学家的工作假设，他们让科学家去做最后的决定。当文艺复兴时期进化观念再度出现时，它主要出现在哲学家（如培根、笛卡尔、莱布尼茨与康德）的著作之中，就是这个道理。与此同时，科学家却在慢慢地研究事实。这些事实最后会经过哈维的胚胎学和约翰·雷(John Ray)的分类系统，引导他们朝同一方向前进。有些哲学家在考虑物种目前的易变性及用实验方法研究的可能性时，甚至达到完全现代的观念，但我们不要忘记另外一些称为进化论者的哲学家(达尔文的前驱)却是从理想的意义上，而不是从现实意义上看待进化的。歌德(Goethe)

274 的有些见解属于这一类，谢林(Schelling)与黑格尔也是这样。在他们看来，物种间的关系在于在概念领域内表现这种关系的内在理念。黑格尔说："变化只能归之于理念本身，因为只有理念才在进化。……把从一个天然的形式和领域到一个更高的形式和领域的变化，看做是外部的与实际的产物，那是一个蠢笨的念头。"

可是，哲学家对于进化论的贡献的价值，并不因为哲学家从理想观点来看进化而化为乌有。最有趣味而且引人注意的是，哲学家与博物学家之间的分工与见解的不同，一直维持到最后的一刻。斯宾塞(Herbert Spencer)虽也是一位合格的生物学家，基本上还是一位哲学家。他在达尔文的《物种起源》发表以前几年，已经在鼓吹一种成熟而具体的进化论学说，而当时大多数博物学家还不愿接受任何这样的学说。就连搜集过不少变异证据的植物学家戈德伦(Godron)，到1859年，即《物种起源》出版的那一年，也还是反

对进化观念。哲学家和博物学家都是对的，他们各遵循正当的途径。哲学家所处理的是一个哲学问题，还没有达到可以用科学方法加以考察的地步。博物学家不接受一种没有确凿证据，而且无法着手研究的见解，甚至不把它当作一项工作假设，也正是真正科学家的审慎态度。

虽然如此，在十八世纪，就已经渐渐地有一些博物学家不顾当时流行的科学意见，维护某种进化学说，到十九世纪前半期，这样的人更是愈来愈多了。摇摆于巴黎大学正统派与"生物联锁论"的信仰之间的布丰，提出了外界环境直接改变动物的学说。诗人、博物学家与哲学家伊拉兹马斯·达尔文(Erasmus Darwin)，看到了一点启示。这一启示后来在他孙儿手中得到了圆满的发展。他说："动物的变形，如由蝌蚪到蛙的变化……人工造成的改变，如人工培育的马、狗、羊的新品种，……气候与季节条件造成的改变，……一切温血动物结构的基本一致，……使我们不能不断定它们都是从一种同样的生命纤维产生出来的。"

最早的一个有条理的合于逻辑的学说是拉马克(Lamarck，1744—1829年)的学说。他想要在环境造成的改变的积累性的遗传中，寻找进化的原因。照布丰的见解，环境对于个体所起的改变影响，常常很小，拉马克却认为，如果习惯的必要改变变成是经常的和持续的，这就可能改变旧的器官，并在需要新器官时使新器官产生出来。例如长颈鹿的祖宗由于不断地伸长颈脖去吃高处的树叶而获得愈来愈长的颈，这样获得的结构的变化又通过遗传而得到发展和强化。虽然这样的遗传没有直接的证据可寻，但它却不失为一种合理而前后一贯的工作假设，可以供其他博物学家，如梅克尔(Meckel)加以使用与发挥。

275

人们既然注意到环境对于个体的影响以及可以正当地归之于

外界环境的变化的范围，这自然要对人们的思想与行动产生很大的影响。我们很难相信，个体可以发生深刻的变化，而其种依然一成不变。因此在十九世纪，就有人把通过环境造成改变的学说当做默认的前提，而兴办了很多社会慈善事业。虽然如此，随着时间的推移，我们已经明了后天获得的性质，即使有，也很难发现。这个问题在今天还在讨论之中，始终没有定论。

十九世纪另外两位主张环境对于个体有直接作用的进化论者是圣提雷尔(Etienne Geoffroy Saint-Hilaire)与钱伯斯(Robert Chambers)。后者隐名出版的《创造的痕迹》(*Vestiges of Creation*)一书，曾经风行一时，帮助人们在思想上做好准备便于接受达尔文的进化论。

但达尔文的工作的中心思想，是从一个人而来的。由于奇特的机遇，他还把同样的线索给予华莱士。此人便是马尔萨斯(Thomas Robert Malthus，1766—1834年)。有一时期他做过英国萨里(Surrey)的阿耳伯里(Albury)副牧师。马尔萨斯是一位能干的经济学家。在他所生活的时代里，英国的人口增加极速。1798年，他的《人口论》第一版问世。他在这本书里宣布人口的增加常比食物的增加快，只有靠饥馑、瘟疫与战争除去过多的人口，才能使食物够用。在以后版本中，他又承认了节制生育的重要性，当时生育节制主要是通过迟婚来实行的。因此，就应用于人类来说，不免削弱了他的简单明了的主要论点。

276　达尔文谈到过这本书在他思想上所起的作用："1838年10月，我为了消遣，偶然读了马尔萨斯的《人口论》。我长期不断地观察过动植物的生活情况，对于到处进行的生存竞争有深切的了解，我因此立刻就想到，在这些情况下，适于环境的变种将会保存下来，不适的必归消灭。其结果则为新种的形成。这样，在进行工作时，我

就有了一个理论可以凭持。”

达 尔 文

得到这个启示的人，由于遗传与环境的缘故，也具有充分利用这个启示的条件。查理·达尔文(Charles Robert Darwin 1809—1882年)是施鲁斯伯里 (Shrewsbury) 乡间能干而有资财的医生罗伯特·达尔文 (Robert Waring Darwin) 的儿子。他的祖父是伊拉兹马斯·达尔文，上面已经讲过了。外祖父约瑟亚·威季伍德(Josiah Wedgwood)是埃鲁里亚(Etruria)的一个陶工，也是一位具有科学能力与智慧的人。威季伍德族是斯塔福德郡 (Stafford-shire)的小地主世家，达尔文族也是地主，但来自林肯郡 (Lincoln-shire) 。查理·达尔文最初在爱丁堡攻读医学，后来改到剑桥大学基督学院，想成为牧师。他在“猎犬号”船上做博物学家，在南美海面上航行五年，得到最好的训练。在热带与亚热带的地区里，生物繁茂。达尔文看到了各种生物互相依存的情况，归来后不到一年，便着手整理记载与物种变迁有关的事实的许多札记中的第一册。十五个月以后，他读了马尔萨斯的书，发现一个线索，结果便形成了新种通过什么方法产生的学说。

属于一个种族的个体，天赋性能各不相同。达尔文对于这些变异的原因不表示意见，只是把这种变异当做事实加以接受。如果生殖过多或追求配偶的竞争过大，任何在争取生存和争夺配偶的斗争中，有用的性能都具有“生存价值”，而使具有这种性能的个体占有优势，有更大机会延长生命或得到配偶，顺利地生产压倒多数的后裔以继承这一有益的变异性。由于不具有这种性能的个体逐渐被淘汰掉了，这一特殊性便有扩大到全种族之势。种族改变了，一个不同的永久的种别慢慢地确立起来。这是一个新观念。关

277 于它在思想史上的重要意义，赫胥黎有过确当的说明。赫胥黎凭借他的阐释的天才、辩论的技巧与争辩的勇气，在促使一般人接受达尔文与华莱士的见解方面比任何人尽力都多。他说："新种可由个体离开种的类型的变异，经过环境的选择作用而形成。这种意见，在1858年以前，不论科学思想历史家和生物学家都是闻所未闻的。我们把这种变异称为'自然发生'，因为我们不知其中的原因。但这个意见却是《物种起源》的中心思想，它包含了达尔文主义的精髓。"

达尔文把这个观念当做工作假设，花了二十年的功夫搜集事实和进行实验。他博览群书，阅读旅行游记，阅读有关运动竞赛、自然历史、园艺种植和家畜培养的书籍。他进行了家鸽交配的实验，研究了种子的传播，以及动植物在地质与地理上的分布。在融汇事实、权衡事实与已产生的一切复杂问题的关系以及最后排比事实上，达尔文表现了无上的本领。他的坦率的诚挚，对真理的爱好以及心境的平静与公正，都是理想的博物学家的典范。他为了指导工作，形成许多假设，但他绝不让先入之见蒙蔽了事实。他说："我不断地努力保持心无拘执，以期任何心爱的假设（我对每一问题都要成立一个），只要证明与事实不合，我都可以立刻放弃。"

达尔文到1844年已经相信物种并非不变，而物种起源的主要原因是自然选择，但他年复一年地继续工作，以期得到更可靠的证据。1856 年，赖尔敦促他发表他的研究结果，达尔文觉得他的研究尚未圆满，没有听从。1858 年 6 月18日，他收到华莱士 (Alfred Russel Wallace) 由特尔纳特 (Ternate) 寄来一篇论文。论文是华莱士读了马尔萨斯的书之后，在三天内写成的，达尔文立刻看出这篇论文中包含有他自己的理论的要点。他不愿意争夺二十年的在先权。这虽然是他应得的权利，但却会使得华莱士的贡献失去意

义。因此达尔文把经过告诉了赖尔与胡克。他们两人和林耐学会商议，于1858年7月1日，把华莱士的论文和达尔文1857年写给阿萨·格雷（Asa Gray）的一封信及他在1844年所写的他的理论的提要一并发表。

进化论与自然选择

接着，达尔文就开始写作，把他多年辛劳的结果简略地写了出来，1859年11月24日，他的书命名为《物种起源》发表了。

我们已经探讨了进化思想的各个支流——宇宙理论的、解剖学的，地质学的与哲学的。这些支流，虽然为物种不变的成见所阻，但在堰闸后面愈聚愈深。达尔文所搜罗的自然选择的证据是一个巨流，它以不可抵抗的威力冲破了这个堰闸，于是汹涌的洪水便泛滥于整个思想领域。随着时间的进展，我们对事实的认识大有增加，现在我们已经可以看出，达尔文，尤其是他的门徒，和他们以前的希腊原子论者一样，低估了生命问题的复杂性。虽然从形态学与古生物学的事实来看，进化的一般进程现在是很明显了，但物种起源的详细情节，还没有阐明出来。单单自然选择似乎还不能充分解释。但是，后来的更审慎的精神，不能减少达尔文的原理在历史上的重要意义。到最后，它也许证明是不充分的，但在当时确是必需的假设。自然选择的观念，引导人们接受了一个更重要的东西——有机进化论。 278

最初许多人觉得接受这个理论就要把人类在哲学上和宗教上的各种重要成果一概推翻，摧毁的东西就未免太多了。我们决不可不加思索地斥责当时广泛流行的这一心理状态。今天，进化的观念已经成为我们的学术观点的一个熟悉的因素，我们很难想象它在那时具有怎样的革命意义，我们也很难想象当进化论的证据

放在世人的面前的时候，有能力判断这种证据的价值的人又是多么寥寥无几。这些证据是详细考查了活着的生物和化石遗迹以后得来的，一般人是不熟悉的，事实上大多数人连知道也不知道。现在，他们却觉得自己被迫要作一抉择：要么否认所得出的结论的有效性，要么抛弃祖先世世代代传下来的信仰。在责备他们以前，让我们诚实地问问自己：从事物的表面来看，究竟是相信蛙与孔雀、鲑鱼与蜂鸟、象与小鼠有共同的祖先容易一些呢，还是相信它们是分别创造出来的容易一些。虽然如此，素来爱好郊野及其动植物的英国人，凡是能领会达尔文所提出的证据的，都还是乐于听从进化论。

可是，就连某些博物学家也对这个新观念有抵触。大解剖学家欧文(Richard Owen)爵士就在《爱丁堡评论》上发表了很凶猛的反驳文章，他的许多同事也附和他的意见。但胡克立刻表示赞同达尔文的意见，赫胥黎、格雷、拉伯克 (Lubbock) 与卡本特尔 (W.B. Carpenter)接着也都表示赞同，赖尔也于 1864 年秋天在皇家学会的聚餐会上，宣布他接受这个信念。

279

从一开始，赫胥黎就是进化论者阵营的主角。他自称是"达尔文的看家狗"。他凭着极大的勇气、能力和明晰解说的本领，首当其冲地抵抗各方面对达尔文的著作的攻击，而且时时带头对狼狈的敌人展开成功的反击。

赫胥黎(Thomas Henry Huxley)于1825年生于伊林(Ealing)，但其祖宗居住在考文垂(Coventry)及韦尔斯沼泽地区，所以他具有真正边境民族的斗争气质。他告诉我们：《物种起源》出版，对于当时科学家，好象黑暗中的一道电光。他写道：

"我们不愿相信这种或那种空想，而要抓住可以和事实对照、经过考验正确无误的明白确定的概念。《物种起源》把我们所需要的工作假设给予了我

们。不但如此，它还有一个极大用处，那就是使我们脱离了一个进退两难的处境：你不愿承认上帝创造世界的假设，可是你又能提出什么学说，让任何小心慎思的人都能接受呢？1857年我不能回答这个问题，也不相信有什么人能够回答。一年以后，我们责怪自己为这样的问题难倒真是太愚蠢了。我记得当最初我把《物种起源》的中心思想抓住的时候，我的感想是'真笨，连这个都没有想到！'"

1860年，赫胥黎与威尔伯福斯(Wilberforce)主教在英国科学协会牛津会议中展开的有名的争论是人们常常引述的①。威尔伯福斯青年时代在牛津数学院得过头等奖，他的大学认为他对自然知识的各个部门无不精通，所以选定他来维护正统的教义。这位主教对于这个问题并无真正的了解，企图用讥笑来摧毁进化观念。赫胥黎对于他的论点给予有效的答辩之后，更对于他的愚昧的干涉给与严厉的抨击；同时拉伯克，即后来的艾夫伯里勋爵(Lord Avebury)，则说明了胚胎学上的进化证据。

到辩论与讥评不能阻止达尔文学说传播的时候，他的对手就采取了平常的步骤，说这个学说并不是他的创见。但对于这个问题最有裁判资格的人却有不同的见解。牛津会议之后两年，赫胥黎写信给赖尔说： 280

如果达尔文的自然选择说是对的，在我看来，这个"真实因"的发现，就使他处在和他一切先辈完全不同的地位。我不能说他的理论是拉马克的理论的修正，犹如我不能说牛顿的天体运动理论是托勒密的体系的修正一样。托勒密解释这些运动的办法是空想出来的。牛顿却根据定律和显然起作用的力来证明天体运动的必然性。我想，如其达尔文是对的，他将与哈维那样的人立于同等的地位，即使他错了，他的清醒而精确的思想也使拉马克不能和他同日而语。

① *Life of Charles Darwin*, Vol. Ⅱ, p.320; Leonard Huxley, *Life and Letters of Thomas Henry Huxley*, vol. Ⅰ, p.180.

赫胥黎指出了证据方面的一个缺陷。积累变异而成新种的观念忽视了这样一个事实：血缘相近而不同的物种杂交后往往在某种程度上生殖不蕃。如果物种有一个共同的来源，我们便看不出为什么竟有这样一个现象，而且我们也找不到明显的例证，说明确实生殖不蕃的杂种是在实验中从共同祖先传下来的多产亲体所养育出来的。

把自然选择当作主要决定力量的主张的确当性，也就是在这一点上最有问题。"适者生存"，用来说明进化的轮廓是可称赞的，但应用在种的差异上就不行了。达尔文的哲学告诉我们：每一物种如要生存，必需在自然里繁盛起来，但没有人能说出我们所说的种的差异(常常是十分显著固定的)在事实上怎样使物种能够繁盛起来①。

赫胥黎虽然指出这个困难，但当时没有人感觉这是一个严重的问题。人们以为进一步的研究会弄清楚这个问题，直到二十世纪大规模地进行科学的育种实验时，人们才感觉到这个问题的全部重要性。那时的生物学家，在最初的奇异感消除之后，便接受了进化论，并且认为自然选择是真实而充足的原因。

大陆上最有名的人种学家微耳和没有接受达尔文的理论，但进化通过自然选择与适者生存进行的学说在德国得到极热烈的欢迎。海克尔与其他博物学家以及跟在他们后面的条顿哲学家与政论家一块创立了所谓达尔文主义，使他们的许多信徒比达尔文自己还要达尔文些。

可是达尔文研究变异与遗传所用的观察与实验的方法，反陷于中止的状态。人们同意自然选择是进化与物种来源的经过证明的充分的原因。达尔文主义不再是初步的科学学说，而成了一种

281

---

① William Bateson, *Address to the American Association* Toronto, 1922.

哲学，甚至一种宗教。实验生物学把注意力转向形态学与比较胚胎学，特别是鲍尔弗(F.M.Balfour)和赫特维希(O.Hertwig)所创立的形态学和比较胚胎学。由梅克尔提出，经海克尔加以发挥的一个假说，认为个体的发育追随、并表现种族的历史。这样一来，胚胎学就具有进化意义，迟缓而费力的研究方法也就更为人所忽视了。

在田野里系统地研究动植物的博物学家，在园圃农场上培育新植物和动物的育种家，日益扩大他们对于物种及品种的正确知识。在博物学家与育种家看来，物种的界限依然是分明的，新种不是由于感觉不到的逐渐变化而形成的，而是由于忽然的、常常是很大的突变而形成的；而且一开始就成了纯粹的种。但实验室里的形态学家并不征求实际工作者的意见，也不对他们的经验知识给予足够重视。贝特森(Bateson)说："十九世纪八十年代的进化论者极其肯定地以为物种是分类学家胸中的一种虚构，不值得识者注意。"但是到了九十年代在实验室中工作的生物学家，在大陆上以德·弗里斯(de Vries)为领袖，在英国以贝特森为领袖，重新回去研究变异与遗传。

达尔文自己虽然相信自然选择是进化的重要原因，但并不排斥拉马克的意见，即由于用进废退的长期作用而获得的特性可以遗传。当时拥有的证据还不能解决这个问题。但在十九世纪快结束的时候，韦斯曼(August Weismann)在这个问题上揭开了新的一页。他指出体细胞与体内的生殖细胞必须截然分清。体细胞只能产生与自己相同的细胞，但生殖细胞不但产生新个体的生殖细胞，而且产生体内一切无数类型的细胞。因此组成生殖细胞的单元必须有足够多的数目，在种类与排列上必须有足够的差别，以形成自然界里的无数机体。生殖细胞由细胞质一脉相传，复制生殖

细胞，但体细胞总是溯源于生殖细胞。因此，每一个体的身体，不过是亲体生殖细胞的比较不重要的副产品；它可以死去而不留下后裔。主要的传统是细胞质，它由细胞传到细胞，有一个不断的历史。

从这个观点看，身体所遭到的改变不大可能影响生殖细胞的产物。这样的影响好象一个人的伯叔父身上的改变，对他本人的影响那样。包含生殖细胞的身体可以损害生殖细胞，但却不能改变它的性质。于是韦斯曼就去严格地研究后天获得性质的遗传的证据，但他认为每个证据都不够充分而加以抛弃。自那时以后，人们通过观察与实验也发现在某些情况下，环境的长期的改变，可以产生一些效果，但这些好象都是例外，没有得到博物学家一致的承认。

282

在韦斯曼宣布他的结果以后，人们一度有些惊谔。因为，生物学家一直是用"用进废退"来解释没有解决的适应之谜的。进化论的哲学家，特别是斯宾塞，一直是把后天获得性质的遗传当做种族发展的重要因素的，而慈善家、教育家与政治家则默认这种说法为真理，而且将它看做是社会"进步"的根本基础。生物学家很快就接受了这种新的见解；斯宾塞却一直到死还和韦斯曼辩论[①]；政治改革家就是到现在，还对和他们的先入之见相反的理论熟视无睹。如果承认后天获得性不能遗传，即等于说"天性"(nature)重于"教养"(nurture)，遗传重于环境。改善生活条件，个体当然会得到好处，但除了通过自然选择或人为选择的间接过程之外，这丝毫不能提高一个种族的天赋性质。

韦斯曼为了解释遗传而设想出来的特殊类型的机制，也许是一些聪明的玄想，但足以指导他的许多追随者的研究工作，促使他

---

① G.C.Bourne, *Herbert Spencer and Animal Evolution*, Oxford, 1910.

们去考察生殖细胞究竟是通过什么过程形成的，体细胞又是通过什么过程从生殖细胞中发展出来的。这些新研究开始于十九世纪，但最显著的结果到后来才出现，所以这个问题留在第九章里讨论比较合适。

十九世纪末，开始了另一场围绕着新知识的争论①。纯粹达尔文主义的维护者如韦斯曼，开始认为自然选择是一个可以充分解释适应和进化的原因。而且他们还以为自然选择所形成的变异是很微小的变异，例如人体身长便有一序列连续的差异。在相当多 283 的数目中，我们可以发现在平均数的两边相当宽广的范围内，各人的身长相差不过百分之一英寸。他们以为，选择就在这样细微差异中进行，而且只要有相当长的时间，便可以产生新的品种和新种。

但在新世纪开始以前，有些博物学家，主要是德·弗里斯与贝特森，把育种家、饲鸟人与园艺家积累的经验当作起点而进行实验，发现以上的设想不符合事实。大的突变常常发生，特别是在杂交以后；新的品种可以立刻出现。到了1900年，久被遗忘的孟德尔的研究成果重新发现，因而又展开了新的一页。即令微小变异的选择不能解释进化，这些新的观念好象还可以解释。这个希望在多大程度上得到实现，我们将在以后讨论。

人类学

在由于达尔文的缘故而恢复生气的各种学术中，人类学，即人类的比较研究，得益最大。事实上，即使说现代人类学从《物种起源》而来也不为过。赫胥黎关于人类头骨的经典研究著作，是从

① A. Weismann, *The Evolution Theory*, Eng. trans. J. A. and M. R. Thomson, London, 1904; Beatrice Bateson, *William Bateson, Naturalist*, Cambridge, 1928, p. 449.

达尔文学说的争论得到启发的，也是精确度量人体特点的开始。这种度量现在成为人类学的重要方法。自然选择的观念和进化的观念则成为后来的一切研究工作的基础。

在其他方面，创立人类学的条件也成熟了。爱好新奇的心理，热切的好奇心和收藏家的搜集癖好不但为欧洲的园圃与博物馆带来了异域的动物和植物，也带来了发展阶段不同的其他民族的美术、工艺产品以及其他宗教的法物祭器。

当人类学家开始工作的时候，大部分必要的材料已经齐备了、熟悉了或部分地分好类了，只待有人出来重新加以解释，以揭示其内在意义的另一方面。

达尔文在《物种起源》里，没有详细地研究人类，可是他指出他的关于一般物种的结论，对于这个问题有明显的关系。1863年，在彻底地研究了解剖学的证据之后，赫胥黎说人在身体与大脑方面与某些猿猴的差异比猿猴与猿猴间的差异还要小些[①]。因此，他回到林耐的分类法，将人类列为灵长目的第一科。在心理方面，人与猿猴的距离要大些，但脊椎动物的心理过程与人类的心理过程是对应的，虽然不及人类的有力与复杂。布雷姆(Brehm)在其《动物的生命》中和达尔文在其较晚的著作中都指出了这一点[②]。可是华莱士仍然认为不应当把人类与其他动物放在一起，因为"他不但是生物大系的首领与进化过程的顶点，在某种程度上还是一个新的截然不同的纲目"[③]。

284

人类学把人类分为几个种族或人种时，主要是根据身体特点，

---

① T. H. Huxley, *Man's Place in Nature*, London, 1863.

② Charles Darwin, *The Descent of Man*; *The Expression of the Emotions in Man and Other Animals*.

③ A. R. Wallace, *Natural Selection*, p.324.

不过，人们也始终认为身体特点和心理特点是相互关联着的。通常都按照肤色把人类分为白种、黄种、红种和黑种；很明显，这四个人种之间的实际差别不但包括肤色差别，而且也包括其他特点方面的差别，当然进一步的细分也是必要的。在重要性上仅次于肤色的是头骨的形状，一般用雷特修斯（Retsius）的方法来分类。从上面来看头颅时，由前到后的长径作为100。以此为准，短径或横径的长度就叫做"头骨指数"。如果指数小于80，头颅即列为长的一类，大于80，即列为短的一类。

我们可以对欧洲居民加以分析，作为例子，来说明这些方法及其结果①。从身体方面来看，欧洲人的差别主要表现在三个特点上：身长、肤色与头形。按大数目平均来说，当我们由南到北向波罗的海前进时，身长逐渐加高，肤色变淡，如果转向南行，则身长变短，肤色变深。在中间的阿尔派恩区（Alpine），身长与肤色介乎两者之间。但头颅的形状则是另外一回事。北方与南方的人都是长头的，其头骨指数是75到79，而中间山区的人则是扁头的，头骨指数是85到89。

要说明这些事实，我们假定欧洲有三种本原种族：第一种是身高皮白的北方种族，在波罗的海周围可以找到，最为纯粹。第二是身短肤黑的南方种族，生长在地中海沿岸以至大西洋岸边。这两种种族都是长头的。但在地理上介乎这两个种族之间的是圆头的阿尔派恩种族，身长与肤色也介乎这两个种族之间，生长在中欧的山岳地带。从一个方面来说，欧洲的历史就是这三个种族的迁徙与互相作用的历史②。人们还根据头发的组织等其他特点，运用

285

① W.Z.Ripley, *The Races of Europe*, Boston and London, 1899.

② A. C. Haddon, *The Wanderings of Peoples*, Cambridge, 1911.

同样的研究方法，研究了其他大陆上的人类的体质情况。在这些大陆上，可以找到更原始的居民。

自从赖尔描述了人类在地质记录中所留下的遗迹之后，已经发现许多证据，说明在遥远的史前时期已经出现了各种不同种族。在十九世纪里人们做了不少的工作。我们发现在几万年以前穴居的人已经用相当生动的野牛与野猪的形象来装饰他们的石壁。1856年在尼安德特(Neanderthal)地方，1886年在斯普伊(Spy)地方，发现更古的人骨，说明有更原始的人类存在；1893年杜布瓦(Dubois)在爪哇鲜新纪地层中发现了一些人骨，大多数权威学者认为这些人骨是介乎猿人与已知的最早期的人之间的一种原人的骸骨。

我们不能认为人类是现存的任何猿类的后裔。即使人类不是猿类的直接苗裔，至少也是它们的远亲。也许在现时的一切猿类以前，有一些更富于可变异性的种类是它们共同的祖宗。可以肯定，进化的过程比起初想到的更为复杂。有史以来，地面上可见的分枝别干是从一个复杂的根系生长出来的，而这个根系则深藏在地下——一去不复返的过去。

统计方法在人类学上的应用，可以说开始于十七世纪配第(William Petty)爵士与格龙特(John Graunt)关于死亡统计表的研究，后来又由比利时天文学家奎特勒(L.A.J.Quetelet，1796—1874年)加以恢复。1835及其以后若干年，奎特勒证明概率的理论可以应用于人类的问题①。他发现苏格兰兵士的胸围量度或法国新兵的身长，围绕一个平均数而变化，其规律和枪弹围着靶子中心

① *Sur l'Homme et le Développement de ses Facultés*, 1835. *Physique Sociale*, 1869. *Anthropométrie*, 1870.

分布的规律或赌场上运气高低的规律一样。用图线表示(如图 9)量度的变化曲线,除了两边差不多对称外,很象说明气体分子速度的曲线(230页)。

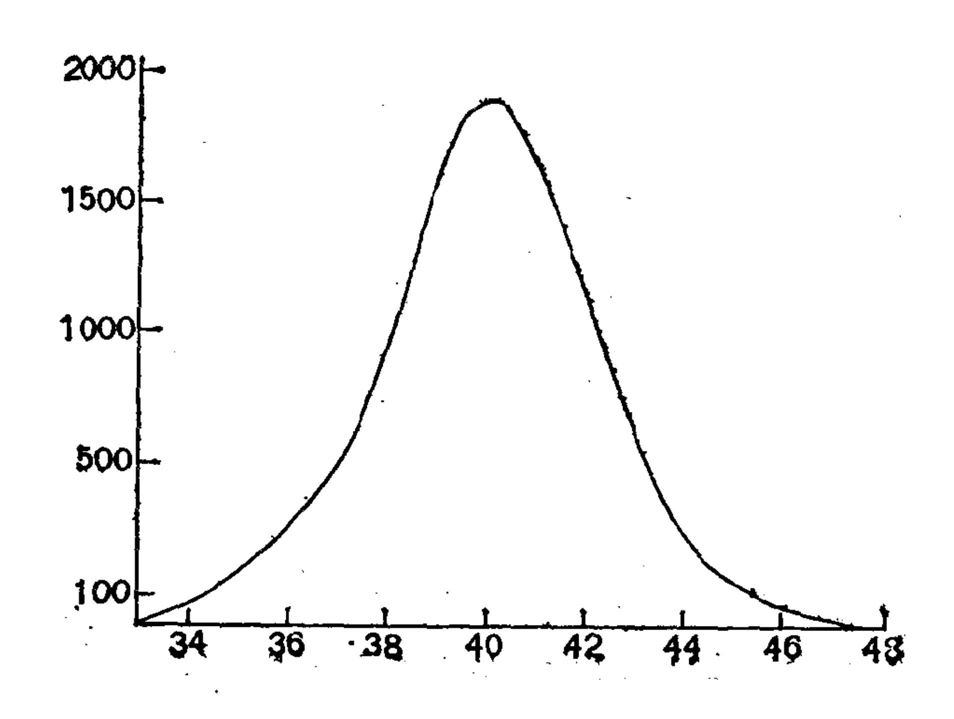


图 9

1869年,达尔文的表弟高尔顿 (Francis Galton) 把《物种起源》中的遗传观念应用于人类智力的遗传[①]。他用受试人的考试分数的分布,证明在体质特点和分子速度方面有效的定律也适用于智力方面。大部分人都属于中等智力,由中等而上到达天才,或由中等而下到达愚钝,其数目都按照人所熟悉的方式减少。 286

在同一次数学考试里,一等优秀生的平均分数约三十倍于分数最低的优秀生,而后者的分数又可能比一般及格学生的分数还

① *Hereditary Genius*, London, 1869.

离，如果他们参加同一考试的话。因为有时间的限制，这些分数低估了智力的差别，这种差别显然是很巨大的。高尔顿认为，一百万人中，大约只有二百五十人的品质称得起是“优秀”，一百万人或一百多万人中，只有一人的品质称得起是“杰出”。另一方面，一百万人中，约有 250 人是无希望的白痴与低能。他们在一个方向上离开中等标准的距离，正如优秀的人在另一方向离开中等标准的距离一样。高尔顿研究了有关的参考书，发现优秀的人常比任意挑取同数量的一般人有较多的优秀亲属。例如，他说一个能干裁判官的儿子成功的机会比普通人要大五百倍。如果有人提出异议说，裁判官帮助他儿子成功的机会比大多数人多些，那末，我们可287以回答说，高尔顿的数字也说明，一个裁判官常有一个能干的父亲正如有一个能干的儿子一样，而裁判官根本没有多少机会去教育或栽培他的父亲是显然的。用了这样的论据，高尔顿公平地驳回了对于他的著作的批评。我们不能过分重视他的数字，但一般的结论是明白而正确的。对于个人的预测虽不可能，但按大数目平均来说，才能的遗传是确定的；天赋才能的差别是很大的；“人人生而平等”的说法，如果是指才能而言，显然是错误的①。

达尔文的自然选择学说使人们认识到法律、社会或经济环境的任何改变必定对于同一批居民的某些特点特别有利，因而可以改变人们的平均生物特性。高尔顿起初怀疑后天获得性能够遗传，等到韦斯曼的研究成果证明获得性遗传的证据，没有一个经得住严格考验时，高尔顿的原则便更加巩固了。很明显，环境的影响被人大大高估了，教育只能使已经存在的特点突出起来，而要提高一个种族的生物特性，唯一的办法就是给它的比较优秀的特点以发

① 这种宣扬上智下愚，把人分为等级的资产阶级谬论，必须给予批判！——译注

展的机会。育种所以非常重要的道理已经很明显了。

当然，我们必须把生物学上的遗传和文化上的遗传截然地分开，后者借语言或文字一代传给一代，而形成民族性。人们对遗传的这一意义已经有了清楚的认识；但生物学上的遗传的效果却常常遭到人们的忽视。

第八章 十九世纪的科学与哲学思想

科学思想的一般趋势——物质与力——能量的理论——心理学——生物学与唯物主义——科学与社会学——进化论与宗教——进化论与哲学

科学思想的一般趋势

十七与十八世纪中，取代了中世纪教会大一统主义的民族主义的影响开始明朗化。不但科学，就是一般的思想，也都具有了极显著的民族色彩，各国的学术活动各自分道扬镳.欧洲各国的国语也代替了拉丁文，成为科学写作的工具。知识分子的旅行，使重要的发现得以传播，如伏尔泰于1726年到英国，亚当·斯密(Adam Smith)于1765年到法国，华滋华斯(Wordsworth)与科尔里奇(Coleridge)于1798年到德国，使牛顿的天文学，重农学派的经济学，康德与谢林的哲学，驰名于本国以外的国家[①]。

十九世纪的初叶，世界科学的中心在巴黎。1793年法国革命政府把拉瓦锡、巴伊(Bailly)与库辛(Cousin)送上了断头台，迫使孔多塞(Condorcet)自杀，并且封闭了科学院。但不久它就发现它还需要科学人员的帮助。在"为了保卫国家一切都是需要的"口号下，科学成为一般社会的必需品，1795年科学院重开，成为法兰西

① J. T. Merz, *History of European Thought in the Nineteenth Century*, 4 vols. Edinburgh and London, 1896～1914, vol. 1, p 16

学院的一部分。拉普拉斯、拉格朗日与蒙日(Monge)的数学,拉瓦锡所倡导的新化学,与阿雨(Haüy)创立的几何晶体学,合起来形成了物理科学的光辉星座。

帕斯卡尔与费马在十七世纪所发明的概率理论,由拉普拉斯发展成为一个体系,不但用来估计物理测量的误差,而且用来从理论上说明牵涉到大数目的人事问题,如保险,以及政府管理和商业管理的统计。居维叶对比较解剖学进行了精密的研究,并且以科学院常任秘书的身份,使科学精神在各学科中都保持着高度的标准。 289

十八世纪中,只有在法国,科学才渗透到文学中去,"其它国家当中,没有一个国家有象丰特列尔(Fontenelle)那样的人,象伏尔泰那样的人,与象布丰那样的人"。到十九世纪初叶,科学与文学的这一联系,仍然维持着高度的水平、主要是由于科学院成为法兰西学院的一部分的缘故。

法国科学的中心是科学院,而德国科学的中心在大学之中。在巴黎,人们早已经在采用精密科学的方法了,德国大学,虽然以古典学术和哲学研究著名,却依然在讲授一种混杂的"自然哲学",这种自然哲学的结论,并不是靠耐心研究自然现象得来的,而是根据可疑的哲学理论得来的。1830年左右,这种影响才消逝了,一半应归功于高斯的数学与李比希的化学工作。李比希旅居巴黎,在盖伊-吕萨克(Gay-Lussac)手下受过训练,1826年在吉森(Giessen)建立了一个实验室。从那时到1914年,学术研究的有的系统组织工作,在德国异常发达,远非他国所及;德国关于世界科学研究成果的摘要与分析,也是很有名的。不但如此,德语中*Wissenschaft*(科学)一词含义较广,包括一切有系统的知识,不论是我们所谓的科学也好,还是语言学、历史与哲学也好。这样就大有助

于这几门学科互相保持接触，大有助于相应地扩大这几门学科的眼界。

英国科学最显著的特点，或许是它的个人主义的精神，光辉的天才的研究成果往往是非学院出身的人物——如波义耳、卡文迪什和达尔文——完成的。十九世纪前半期，牛津与剑桥两大学虽然已经是高等普通教育的不可比拟的学府，但仍然没有具备大陆上的研究精神。当时时常有人指责科学状况在英国甚为不振①，后来靠了巴贝奇(Babbage)，赫舍尔与皮科克(Peacock)所组织的学生团体的推动，才把大陆的数学介绍到剑桥大学中来。这种数学虽然是牛顿发明的，在大陆上反而得到很大的发展。

不过，十九世纪中叶牛津大学与剑桥大学都进行了改革，很快地不但在传统的古典学术研究方面卓有成效，而且在现代学术研究方面也卓有成效。所谓各门科学之冠的数理物理学，再度在剑桥得到温暖的孕育之所，其后，在麦克斯韦、雷利爵士与汤姆生(J. J. Thomson)、卢瑟福诸人的倡导下，又创立了驰名世界的卡文迪什实验室的实验学派。经福斯特、兰利(Langley)与贝特森诸人倡导又创立了生物学学科，这样剑桥就成为今天我们所知道的科学研究的重要中心。

因此，持续到十九世纪上半期为止的欧洲各国学术活动各自为政的现象，到下半期已不复存在。交通的便利增进了个人间的接触，科学期刊与学会会议，使一切研究者随时都可以得知新的成果，而科学也就再度国际化了。

另一方面，国际间的壁垒虽然打破了，但知识的分科愈渐专

---

① 例如，可参看 *Edinburgh Review*, vol. XXVII, 1816, p. 98, 和 C. Babbage, *Decline of the State of Science in England*, 1830.

门,各部门间的隔阂又复增加。在十九世纪初期,德国各大学还能讲授百科全书式的课程,使人以为知识的统一与完整,可以在统一课程里找到①。在康德、费希特(Fichte)与施莱尔马赫(Schleiermacher)诸人的影响下,哲学仍然把知识的各部门都包罗在内,而且还侵入科学思想中。

科学与哲学怎样一度失去了联系,我们将在后面叙述。这一过程无疑由于一门科学分为几门科学而加速起来。知识的进展非常迅速,以致无人能追踪其全部进程。所谓实验室,在过去只是个别自然哲学家的私人房间,这时却由各大学修建,或由别人出钱替各大学修建,结果,不但促使学术的研究者掌握了实验研究方法,就是初学者也懂得了这种方法。这样比较透彻研究每一学科的机会增多了,致力于一般性研究的时间减少了,科学家也便倾向于只见树木而忘却森林。近年来各科学间的相互关系日渐明朗化,而数学与物理学也正在指出创立一种新哲学的途径。但一般来说,这种各自为政的倾向一直持续到十九世纪末,只有少数概括性的结论是例外,如能量守恒的原理,在物理上有效,在化学上与生物学上也同样有效。

要探讨十九世纪科学的进步对于其它学术特别是对于哲学思想所产生的影响,我们不应忘记,数学与物理的进展所产生的影响,在这个时期要比以前三个世纪少得多。数学和物理学研究在数量上比以前多得多了,科学的观点在1800与1900年间的变化也是巨大的,然而从哲学的观点来说,十九世纪在物理学上却没有象哥白尼和牛顿的发现那样的革命性的发现。那些发现,曾经深深地改变人们对于人类世界与人本身在宇宙中的位置与重要性的观 291

① Merz, 上引书 vol. I, p. 37.

念。在十九世纪中，富有同样革命性的成果来自生物学方面：生理学与心理学研究了心与物的关系；达尔文在自然选择的基础上创立了进化论。

我们说过，在文艺复兴与牛顿时代，由于科学家创立了适宜于研究自然的新的归纳方法和实验方法，科学与哲学间的联系因而渐呈松懈。哲学家仍然企图维持他们对整个知识领域的法律上的宗主权，不过，他们已经丧失了他们对一大部分知识领域的事实上的主权。在康德的时代以前，哲学家仍然设法使他们的体系把物理科学的成果包括在内。

但是，在我们现在所谈到的时期中，主要是由于后期黑格尔派的影响(不是由于黑格尔本人的影响)，哲学与科学的分离愈益明显。

赫尔姆霍茨对这一情况有很好的叙述[①]。他在1862年写作时，离当代不远，因而了解当代的影响。他说：

近年来有人指责自然哲学，说它逐渐远离由共同的语文和历史研究联结起来的其他科学，而自辟蹊径。其实这种对抗很久以来就明朗化了，据我看来，这主要是在黑格尔派哲学的影响下发展起来的，至少是在黑格尔派哲学的衬托下，才更加明显起来。上一世纪末，康德哲学盛行的时候，这种分裂局面从未有所闻。相反地，康德哲学的基础，与物理科学的基础正复相同，这可以从康德自己的科学著作，特别是从他的天体演化理论中看出来。他的天体演化理论是在牛顿的引力定律的基础上建立起来的，其后以拉普拉斯的星云假说的名义为世所公认。康德的"批判哲学"的唯一目的，在于考验知识的来源与权威，并确定同其它科学相比的哲学研究的确定范围与标准。根据他的学说，由纯粹思想"先验地"发现的一条原则，是一条适用于纯粹思想方法的规则，而不及其它；它不可能包含任何真实的、确凿的知识。……黑格尔的

292

① H. Helmholtz, *Popular Lectures on Scientific Subjects*, Eng. trans. E. Atkinson, London, 1873, p. 5.

“同一性哲学”（它所以叫作同一性哲学是因它不但主张主观与客观的同一，而且主张存在与非存在一类对立面也是同一的）要更果敢一些。这种哲学，从一种假说出发，以为不但精神现象，就是实际世界——自然与人——也是创造性的心灵的一个思想活动的结果，它认为这个创造性的心灵在种类上与人的心灵相似。根据这一假说，人的心灵，即使没有外界经验的引导，似乎也能够揣度造物者的思想，并通过它自己的内部的活动，重新发现这些思想。“同一性哲学”就是从这一观点出发，用先验的方法构造其他科学的成果。在神学、法律、政治、语言、艺术、历史问题上，总之在其题材的确是从我们的道德本性中产生出来，因而可以总称为道德科学的一切科学中，这个方法也许可以有或多或少的成就。但是，即令承认黑格尔用“先验方法”构造道德科学的重要结果大体上是成功的，仍然没有任何证据证明他所根据的“同一性假说”是正确的。本来自然界的事实才是检验的标准。我们敢说黑格尔的哲学正是在这一点上完全崩溃的。他的自然体系，至少在自然哲学家的眼里，乃是绝对的狂妄。和他同时代的有名的科学家，没有一个人拥护他的主张。因此，黑格尔自己觉得，在物理科学的领域里为他的哲学争得象他的哲学在其他领域中十分爽快地赢得的认可，是十分重要的。于是，他就异常猛烈而尖刻地对自然哲学家，特别是牛顿，大肆进行攻击，因为牛顿是物理研究的第一个和最伟大的代表。哲学家指责科学家眼界窄狭；科学家反唇相讥，说哲学家发疯了。其结果，科学家开始在某种程度上强调要在自己的工作中扫除一切哲学影响，其中有些科学家，包括最敏锐的科学家，甚至对整个哲学都加以非难，不但说哲学无用，而且说哲学是有害的梦幻。这样一来，我们必须承认，不但黑格尔体系要使一切其他学术都服从自己的非分妄想遭到唾弃，而且，哲学的正当要求，即对于认识来源的批判和智力的功能的定义，也没有人加以注意了。

这种科学和哲学互相分离的状况，历时约半个世纪，在德国尤其是这样。黑格尔派对实验家表示轻视，同希腊的哲学家有些相象。科学家则讨厌黑格尔派，最后干脆不理会他们。就连赫尔姆霍茨在对这种态度表示感叹时，也认为哲学的功能只限于它的批判功能——阐明认识论，它没有权利去解决其他更富于思辨性的问题，如实在的本性和宇宙的意义等更深奥的问题。

293　哲学家在自己方面也是同样地盲目。他们不择手段地攻击实验家。诗人歌德在动植物的比较解剖学领域做过一些有益的工作。在这个领域内，事实是摆在表面上的。但是，在需要更深刻的分析的领域中，如象在物理学中，歌德的方法就失败了。诗人的洞察力使他相信，白光一定比有色光更简单、更纯粹，因此，牛顿关于色彩的理论一定错了①。他不愿考虑周密的实验所揭示出的事实，也不愿考虑由这些事实得出的推论。他以为感官一定可以马上揭示出自然的真相，而事物的内在本性，也能由直接的审美想象所展露。因此，他就创立了一种关于色彩的理论，以白光为基本色。这种理论经不起最简单的物理学的分析，支持这种理论的仅有歌德对于牛顿的辱骂与黑格尔派的调解援助而已。因此无怪乎科学家不屑读哲学家的著作。但科学和哲学完全分离的状况不能持久，而科学很快就开始再一次影响当代的一般思想了。

在英国发生了一场旧论战的新表演。论战的一方惠威尔，认为数学的性质是先验的，论战的另一方赫舍尔与约翰·穆勒(J. S. Mill)，认为欧几里得的公理，例如二平行线无穷延长不能相交，是从经验中归纳出来的②。康德象对于其他科学概念一样，把这些公理的有效性归因于我们的心灵的性质，而在今天，我们可以认为这些公理不过是我们的几何学里所要研究的那一种空间的定义罢了。我们还可以创立另一套公理来得出非欧几里得空间的几何学。事实上，洛巴捷夫斯基、波约、高斯与黎曼的研究成果，渐渐表明我们所谓的空间，只是一般可能的流形（可有四或四以上的维数）

---

① Helmholtz，上引书 p. 33。

② W. Whewell, *Philosophy of the Inductive Sciences*, London, 1840, and *History of the Inductive Science*, London, 1837; J. S. Mill, *Logic*, London, 1843.

的一种特殊情况。我们的心灵可以创立另一套公理，而研究别的各种“空间”的性质。的确根据经验，我们所观察的空间近似是三维的，而且是欧几里得的，但经爱因斯坦的精密考查，证明它并不是分毫不差是这样的，只不过就目前的精确度而言，与许多可能空间中的一种相合而已。由此可见，惠威尔和穆勒的争论，亦如其它许多争论一样，已消失于一种新的解决方案，这种新方案要把原来的两个方案的精华都包括在内。

惠威尔认为数学的公理是必需的，而自然科学的假说，却是从经验中归纳出来的，仅仅是有可能而已，二者实有区别。不过，惠威尔又跟在康德的后面，以为在每一认识的活动里，都有一种形式的成分，即心理的成分，同直接由感觉而来的成分互相合作。穆勒的态度一半是由于当时的经验派还在有意无意地反对“内在理念”(innate ideas)的旧日幽灵——柏拉图式的超感官世界的启示。看来，也正是这种残余的倾向，使宇伯威格（Ueberweg）在和康德论战时走上歧途[1]。其实，经验不能引导我们直接达到事物的真相，经验只不过是事物的外观在我们的心灵中出现的一种过程，因此，我们所构造的自然界的画面，部分先验地取决于我们心灵的构造，部分取决于我们毕竟还有经验这一事实。十九世纪的经验论者，似乎没有看出这种看法的力量或影响。 294

事实上在十九世纪的大半时期中，多数科学家，特别是生物学家，都以为他们已经摆脱了形而上学，因而不加批判地接受了科学所构造的自然界的模型，而认为这种模型是终极的实在。但有些物理学家与哲学家则比较谨慎。就连把自己的工作建立在当代科

① 参看 F. A. Lange, *Geschichte des Materialismus*, English trans. E. C. Thomas, vol. I, 3rd ed. p. 173。

学的基础上的斯宾塞，也以为物理学的根本概念，如时、空、原子之类包含有心理上的矛盾，清楚地说明现象背后的实在是不可知的。斯宾塞断言，在这里，科学就与宗教携起手来，因为除去一切可疑的成分以后，宗教其实只不过是一种信念，以为万物都是我们所无法认识的一种伟大力量的表现。

科学的哲学在英国还有以下诸人研究：布尔（G.Boole）在1854年把符号语言与记法介绍到逻辑学中去；杰文斯（W. Stanley Jevons）在他的《科学原理》（*Principles of Science*, 1874）中断言，在科学的发现方法中，直觉具有崇高的地位；克利福德（W.K. Clifford,1845—1879年）认为康德为了证明几何学的真理的普遍性和必然性而提出的论据是有力的，足以驳倒休谟的经验论，但洛巴捷夫斯基与黎曼的研究证明，虽然理想的空间可以用先验的方法加以规定和研究，我们所知的实际的空间及其几何学却是经验的产物。达尔文的自然选择的理论，对于这个问题不无关系。我们将在本章中重新加以论述。

但布尔、杰文斯、克利福德三人对于科学家的影响，却甚为微小。就连物理学家也和哲学完全失去联系。当1883年马赫请求人们注意力学的哲学基础的时候，一部分物理学家对他的工作不加理会，另一部分人认为他的学说想入非非而加以轻视，只有少数物理学家对他的见解加以研究，表示赞赏，但又对他的见解的独创性估计过高[①]。

295

马赫写作力学方面的论著时，采取了当时人们很少用的历史

① Dr Ernst Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung historisch-kritisch dargestellt*, 1st ed. 1883, 4th ed. 1901, Eng. trans. T. J. McCormack, Chicago, 1883, 2nd ed. London, 1902.

方法。他对于牛顿的质量定义的批评，以及他对于已发现的动力学基本原理的论述，已在本书的第六章中叙述过了。

马赫遵守洛克、休谟与康德的传统，以为科学只能把我们通过感官所能了解的自然界构成模型，力学决不是象有些人所相信的那样当然是自然界的最后真理，而只是观察上述模型的一个角度。其它角度，如化学、生理学之类，也同样是基本的与重要的。我们无权假定我们对于绝对空间或时间有所认识，因为空与时仅仅是一种感觉，空间只能参照于恒星的间架，时间只能参照于天文运动。由于黎曼与其他数学家想象出别种空间或类空流形，我们所知的空间，只不过由经验得到的一种概念而已。“所谓物体乃是触觉与视觉感觉的相对不变的总和。”自然律乃是“简明扼要的规则”。它只能提供过去经验的结果，以指导将来的感官知觉。马赫的意见大多数都可以在过去的哲学家的著作中找到，但是，十九世纪后期的没有哲学头脑的科学家，却觉得这些见解十分新奇。

物质与力

或许从哲学的观点来看，物理科学新发展的最早的和唯一的重要影响，是拉瓦锡证明物质通过一切化学变化常住不灭以后所造成的影响。由触觉得来的物质概念，是常识给予科学的最早的概念之一，由这里又产生出形而上学的概念，把物质看作是在空间里延伸，在时间里延续的东西。在前面数章中，我们说过，在历史上的某些时期中，对于物质的刚性的经验，屡次引起唯物主义的哲学。拉瓦锡用科学方法证明物质经过化学作用，虽然在表面上有改变与消灭的现象，然由其重量测得，总质量恒定不变，这样他就大大加强了把物质看作是最后实在的常识性的看法，因为人们凭借常识觉得，历时不灭乃是实在的标志之一。 296

但在十九世纪前三分之二的时期中，对哲学思想影响最大的是物理科学的成功所造成的一般印象。道尔顿的原子理论，电磁现象归结为数学的定律，光的波动学说与实验相符合，通过光谱分析，揭示出太阳与恒星的组成成分，以构造式解释大群有机物的结构，新化合物甚至新元素的发现，而且在发现前就可以预言它们的存在——这一切成就，以及其它成就，都使人产生一种压倒一切的感觉，觉得人类解释自然与控制自然力的力量在不断地增加。人们很容易忘记，所谓打破一个谜团，其实不过是用另一谜团来解释它。最后分析起来，实在的基本问题仍如往昔，并无进展。但事实上，在十九世纪的前六七十年间，人们往往忘记这一事实，缺乏批判头脑的人最初愈来愈坚信物质与力是最后的解释，后来又愈来愈相信物质与运动是最后的解释。

人们所以在后来形成物质与力支配一切的观念，中间有一些思想上的演变线索，我们应该在这里更加仔细地加以探讨。牛顿本人在创立万有引力的假说时，从来没有承认引力是物质固有的终极本性，也没有把超距作用当作它的物理学上的解释。他说他对引力的原因不能有满意的说明，仅仅疑心它可能起因于以太，这种介质在自由空间内比在物质附近更密，所以能压迫有引力的物体互相接近。牛顿并没有强调这种见解，但是，他显然认为引力尚待解释，其原因须留给后人研究。

但在十八世纪与十九世纪初期，许多哲学家与少数物理学家以为牛顿的体系（伽利略的力的概念的推广）和超距作用有关，在这方面与起源于笛卡尔的另一学派有别。他们想用某种可了解的机械方式来解释物质间的相互作用，例如法国物理学家安培与柯西(Cauchy)，根据牛顿的平方反比律用数学方法来研究电力，在297英国，法拉第——其后有威廉·汤姆生与麦克斯韦——则研究了中

间的介质的效应，企图断定电力所以可以在介质中传播是靠了一种机械作用。

在原子与分子的研究方面也有类似问题。古代的人认为，事实上，伽桑狄与波义耳，也以为原子只能靠冲撞与接触相互作用。他们假设原子有粗糙的表面，甚至有齿与钩，以解释物质的黏着与其他性质。但如果原子的相互作用可以是超距的，那么这些概念就都不必要了。的确，运动说只是在表面上回到原子或分子通过直接冲撞而相互作用的见解那里去。但这个学说必须假定分子在互相接近时才彼此起作用，而且由于它们在冲撞后能够跃回，因此必须把分子看作具有弹性，因而必须有结构，并由更细小的部分所组成。即使原子在实际上不可分割，在想象中却可以对原子作无限的分割，最后就可以得到一个无限小的质点，这个质点因为能影响别的类似的质点，必定是一种力的中心。十八世纪的一个耶稣会士波斯科维奇(Boscovitch)就根据这种推理，认为原子本身是非物质的力的中心；而十九世纪的具有逻辑头脑的法国物理学家，如安培与柯西，则认为，他们时代的原子，经过分析，已经成为没有广延性的力的承载者了，只是没有哲学头脑的人士，才会凭借他们唯物主义的本能，保留把原子看作是刚硬质点的看法。时至今日，原子已经不再是非广延的了，就连电子也表现出有更精微的结构，因此有人把它看作是一种辐射的来源，或一种没有具体形态的波系。当我们注视到电子之外时，我们似乎仍然需要在两种看法中选择其一：一种看法是，把物质的终极单位看作是非广延的力的中心；另一种看法是，把物质看作是一个无限序列的微细的结构，内外相含，愈在内部愈微细。

尽管波斯科维奇、安培和柯西把原子看作仅仅是一个力的中心，牛顿的科学，却是建筑在把物质看作是微粒的看法基础上，拉

瓦锡也把类似观念应用到化学上去，这就使许多对于这类东西发生兴趣的人，得到一种相反的哲学，以为硬块的物质，乃是唯一的实在，而硬块物质之间的力则是它们的唯一作用方式。赫尔姆霍茨与其他物理学家，以为把问题归结到物质与力就充分解决了问题。在这方面他们是随牛顿亦步亦趋的。这是一种数学的解答，作为数学的解答是令人满意的，虽然不是物理学上的解释，但是，不熟悉物理学的人，就以为他们把数学上的解答，看作是最后的解释了。

298

十八世纪时，第五章所叙述过的唯物主义的哲学，在法国复生，十九世纪时，又在德国再起①。早期的领袖，如摩莱肖特(Moleschott)，毕希纳(Büchner)与福格特(Vogt)都把他们的哲学建立在科学成果上，特别是生理学与心理学的成果上。毕希纳的书名《力与物质》(*Kraft und Stoff*,1855)就说明把力与物质看作是最终的实在的观念构成这个唯物主义运动的一个必要部分。在有些玄妙的黑格尔唯心主义盛行半世纪以后，有这样的唯物主义学派，促使人们注意自然科学的明晰成果，其影响究属良好，但是值得注意的是这种唯物主义哲学兴起之时，科学家已经用有确切定义的量"质量"代替了物质，并且指出"力"一词具有"力"或"能量"的双重含义，因此意义非常含混。而且这些德国作家，还把他们的唯物主义同感觉论和怀疑论混为一谈。历史上唯物主义的旧观点复活过来，因为同夸大的达尔文主义吻合无间，就被有些共产主义者看作是经济学和政治学的基础。

① F. A. Lange, 上引书 vol. II, Chaps. I, II.

能量的理论

物质守恒的原理，经人公认以后，引起一种朴素的唯物主义，已如上节所述。与之对应的能量守恒的原理，也跟着确立起来。哲学上的唯物主义，虽然不能强行利用这一原理来为自己服务，但却可以把它当作哲学上的机械论与决定论的联合理论的证据。

第一，这一原则，使人对流行的生物学上的活力论产生怀疑。这种活力论以为在生物里有一种生命力，可以控制甚至停止物理和化学的定律，使机体适应环境，并决定机体的目的。到这时候，人们已经知道动物也象机器一样，只有在从外面取得能量——取得食物这种燃料以及空气中的氧——的时候，才能够运动和作功，如果有一种生命原质来进行控制，其方式当较以前的假定更为复杂。还可以设想用麦克斯韦假想的“鬼魔”的作用一类东西来规避热力学的第二定律(统计学定律)，但是，第一定律（即能量守恒的原则)已经证实对于有生命的与无生命的体系都是有效的。

其次，如果宇宙间的能量有一定限量，我们就要遇到太阳活动有可能停止的问题，以及地球过去的年龄与将来的寿命等问题。299 人们已经知道，把太阳看作是一个缓慢冷却的热体的旧观念是不正确的；即令它是一团纯炭，它也很快会焚竭热尽，但这些新的物理学原理还证明，当原始的星云逐渐凝结，星云的几个部分聚集在一起形成太阳时，会有巨大的能量储藏转化为热。而且太阳的不断收缩，如果仍在进行的话，也会继续产生热量，或许会使太阳有充足的时间存在下去。据赫尔姆霍茨在1854年计算，太阳收缩其半径的万分之一所生的热量，足以供其辐射二千多年而有余。

威廉·汤姆生(即凯尔文爵士)根据同样的计算，估算了地球的年龄，用于补充别人根据下面的情况推算出的数字：(1)地壳对于热的传导，(2)使日夜延长的潮汐的摩擦效应。1862年，他估计

在不到二亿(2×10^8)年以前，地球还是一团溶液，1899 年，他又把这一年限缩短为二千至四千万年之间。到这时，地质学家与生物学家又都要求把地球与地球上居住者的存在年限大大延长。于是发生一种争论，但物理计算的根据很快就发生问题，最初是因为发现放射物质而得到一种新的热源，后来是因为有了目前新的原子与宇宙的理论。现在人们认为，在太阳与恒星的高温下，物质可以发生嬗变，即由一种元素变为另一种元素，物质甚至可以直接化为能量，因此，所供给的能量的储量就远远超过旧有理论的想象。研究宇宙与有机演化的史学家，无论需要如何悠久的时间，现在都不成问题了。

早期计算出的数字，并不重要。无论太阳与地球在过去的年龄如何悠久，能量守恒与散逸的原理，都说明它们是有始有终的，因而也就把这种研究纳于科学范围之内。

威廉·汤姆生还利用热力学的第二原理以另一种方式研究了这个问题。由热量而来的机械功，只有当热量由一热体传到冷体的时候才能得到。这一过程总是倾向于减少温度的差异，这种温差还因为热的传导、摩擦与其他不可逆的过程而减少。在不可逆的体系里，可用的能量总是愈来愈少，而其相反的量（克劳胥斯称之为熵）则总是倾向于达到一个最大值。所以在孤立的体系，以及人们这样设想的宇宙内能量渐渐转化为热，趋于平均分布，不能成为有用之功的来源。当时人们认为，由于这种能的逸散，最后宇宙必将变得静寂而无运动。

汤姆生的研究成果，象牛顿的研究成果一样，被那些把物理科学与机械哲学混为一谈、把我们所制定的自然模型与终结实在混为一谈的人们，加以利用。“宇宙的寂灭”被看作是无神论与哲学上的决定论的另一证据。但根据相反的有神论学说，如果世界是

上帝创造出来的，看来就没有充分理由说明为什么上帝在厌恶这个世界的时候不能把它毁灭；而且，如果根据这一假说，人的灵魂是有灵性的和不朽的话，它当然可以对物质世界的更换无动于衷，因为老早就不能把它禁锢在这个物质世界中了。再者，至少根据十九世纪的证据来看，把热力学的原理应用于宇宙理论，其有效性是可疑的。把从这样有限的例证中推出来的结果，应用到宇宙上去，是没有道理的，即令过去利用这些结果去预言有限的独立的或等温的体系的情况很有成效。我们现在知道这个问题比最初提出时人们所了解的要复杂得多。不但如此，即使今天存在的太阳与地球的始末为科学所阐明，我们也必须指出，这一结果对于整个宇宙的起源、意义与目的这一形而上学问题，也没有很大关系。在探究太阳与地球，甚至全银河星系的生命时，我们或许可以从最初的星云起一直探索到最后的寂灭境界。但是，即令是这样，我们也仍然只是探究了宇宙演化历程的几个阶段，和以往一样仍然不能解决这个伟大存在的秘密。

心理学

人们的心灵可以凭理性与经验两种方法去研究。我们可以先接受某种形而上学的宇宙体系，如罗马教会体系或德国唯物主义哲学的体系，然后凭理性推出人的心灵在这个体系内的地位，以及人的心灵和这个体系的关系。另一方面，我们也可以不接受任何这样的体系，而通过经验的观测与实验，研究心灵的现象。这种凭借经验的研究，又可用两种方法进行，即我们自己心里的内省，以及对自己或别人的心灵加以客观地观察与实验。靠了这后一方法，心理学才变成自然科学的一个分支。 301

十九世纪初叶，理性的心理学是德国所特有的，在大学里，同

宇宙论与神学结合成为一门广泛的形而上学的学问。经验的心理学早已在英格兰与苏格兰出现，并且采用内省的方法。这种方法在本世纪三分之二时间内盛行一时，尤其是在詹姆斯·穆勒(James Mill)与贝恩(Alexander Bain)的手中。在法国，人们开始把心理的外在表现当作生理的与病理的问题加以研究，并且开始研究心理的外部符号，如语言、文法与逻辑①。

当科学方法推广到产生这种方法的学科以外的学科中去的时候，理性的心理学在各国就很快为经验的心理学所代替了。海尔巴特(Herbart)在德国利用经验的心理学来对抗当时流行的系统的唯心主义哲学，虽然他的心理学不但建立在经验基础上，而且建立在形而上学的基础上；另一方面，特别是在洛采(Lotze)的著作里，它却成为关于唯物主义的假说的讨论的基础，这种讨论比在福格特、摩莱肖特与毕希纳诸人的著作中可以找到的讨论更为深刻。德国人对于这种经验的"无灵魂的心理学"(心理学在德语为Seelenlehre，原义本为灵魂学)即没有一个预定的形而上学体系的心理学，自不免有所惊异，因自莱布尼茨以来，德国思想界总想在研究宇宙的任何部分以前，就制定出一个关于宇宙的广泛理性理论。但是经验派的心理学，在英国人及苏格兰人的"常识"性的观点看来，是十分自然的。和过去常有的情况一样，他们可以孤立地遵循一条思路，只要它证明在实践上有用，而毫不顾及这种思路对其他学科的明显的逻辑影响。大部分英国心理学家，把神学留给神学家，把形而上学留给形而上学家，即令在他们所用的方法，带有内省的性质(虽然也是经验性)的时候，他们也是这样。当他们所用的方法变为实验的时候，这个态度自更鲜明。在法国，研究心理学

① J. T. Merz，上引书 vol. Ⅱ，p. 203。

的主要是生理学家与医生，因此，法国的心理学在科学实验方法方面自然走在前面，而没有受到形而上学体系的影响的危险。当心理学象自然科学一样变为国际性的时候，法国的贡献大概影响最大。

包括生理学与实验生理学在内的物理科学的态度是分析的，它对问题从各个不同角度——机械的、化学的或生理的——陆续加以考察，并且在每一角度都要把研究的题材分析为简单的概念，302 如细胞、原子、电子与其相互间的关系。但生物学说明每一个生物都是一个有机的整体，而且更显著的是每一个人都对自身存在的统一性有深切的意识。科学所处理的关系，可以由任何有能力的观察者加以验证，但各个人的心理的确只有本人方能完全达到。因此，科学方法无法对这种统一性的意识给于充分的研究。在生理学与实验心理学中，必须假定动物受制于物理学和化学的定律，并可以用这些定律去解释，至于人则必须假设他是一架机器，因为如果根据别的假定，便不能有任何进展。不过当大陆上的伪逻辑学家断言这一有用的假设可以代表实在，而人不过是一架机器时，英国人则凭他们通常的常识见解，以为这一主张虽然与一套事实相合，却与另一套事实相背；他们完全满足于在生理实验室中把人视为机器，在日常事务上把人视为具有自由意志与责任的个人，而在教堂礼拜，则把人视为一个不朽的灵魂。既然每一种看法都是适合它的特殊用途的良好的工作假设，为什么不能在适当的时间与地点，把这些假设一并采用？或许有朝一日按照将来的知识，这些假设可以调和起来，但现时这些假设却各有助于工作的进行。英国人的这种特殊心理态度，不但在牛顿的时代与现代心理学创始之际表现出来，而且也在十九世纪的与其后的许多科学与哲学问题上表现出来。此种态度在大陆的人看来，或许是不合逻辑的，

但仍不失为真正科学的态度。他把某些理论当作工作假设，只要它们能产生有用的结果；而且只要它们能产生有用的结果，他们也毫不犹疑地同时采用在当时的知识情况下看起来互相矛盾的两种理论。如果其中之一证明与事实(或与信念)不符，他们可以立刻放弃不用。物理学一向被视为最富于理性的科学，现在却仍旧采用表面上看来有很大矛盾的两种基本理论，这或许可以证明英国人的心理习惯是有道理的。

亚力山大·贝恩(1818—1903年)是首先使用现代科学知识，以内省法对心理过程进行经验的研究的人士之一。他遵循洛克的理论，以为心理现象可以追溯到感觉，同时又采取从休谟到詹姆斯·穆勒的英国作家所主张的"联想心理学"，以为比较高级的和比较复杂的观念是简单元素靠联想所组成的。贝恩从生理学中引来证据，用以证明这些原理，不过他并没有充分领会法国人关于变态心理的研究对正常心理理论所产生的影响，在进化论的时代使人明白遗传与环境两种不同的因素的影响以前，他已经完成了他的主要的工作。

303

就是在心理学求助于自然科学的时候，在应用方式上，各国的心理学有一时期也各有各的特色。法英两国注重科学的方法——观察，假说，推论的演绎，并且把推论与进一步的观察及实验加以比较。在德国，黑格尔的唯心主义哲学虽然有些威信扫地，不再被人当作基础，心理学家仍然想在一个形而上学的体系的基础上有所建树。这时自然科学正在进展，弥勒与李比希把生理学与化学应用于医学与工业而大著成效，因此，心理学家不但采用了科学的方法，而且采用了科学的概念。他们企图"把自然科学中习用的所谓基本概念，如物质与力，抬高到心理科学的基本原则的地位，甚至抬高到新的信条的地位"。结果人们就"对于心理现象采取一种

抽象和简单化的看法，匆遽地得出一些概括的结论，最后则作出一些纯粹言词上的区别”[①]。

但大约就在这时候（十九世纪的中叶），由于采用从各方面借来的物理学方法，心理学中也发生一场革命。说也奇怪，心理物理学竟可以追溯到贝克莱主教。他在《视觉新论》(*New Theory of Vision*)一书中指出，我对于空间与物质的知觉，归根结蒂来源于触觉。心理学后来的发展是在伽伐尼发见用两种金属接触蛙腿时蛙腿发生痉挛现象的时候开始的。这一发现不但成为伟大的电流科学的肇始，而且在生理学与心理学方面也引起许多怪诞的玄想。没有科学素养的狂热者利用伽伐尼的发现与麦斯美 (Mesmer) 关于催眠现象的研究（他们说这种现象是“动物的磁性”），把关于电在生理学中的作用的研究庸俗化。直至一代以后，赫尔姆霍茨与杜·博瓦·雷蒙 (du Bois Reymond) 才重新采用了科学方法。

我们说过加尔关于感觉在大脑中的部位的研究成果，怎样在愚昧无知的人手里变成了荒唐的“骨相学”，而在比较细心的研究 304 者手里，又怎样增进了关于大脑作用的知识。从物理方面研究特殊的感官的，有以下诸人：托马斯·杨修正和改进了牛顿关于色彩视觉有赖于三种原色感觉的理论，赫尔姆霍茨首倡生理声学，阐明了音乐与言语的生理基础；赫尔姆霍茨还研究了生理光学，不但增进了我们对于视觉和色彩感觉的知识，而且帮助分析了我们对于空间的知觉。在他所使用的方法中，就有惠斯通 (Sir Charles Wheatstone) 在这以前所发明的体视镜。

但现代实验心理学的创始者，当推来比锡的韦伯 (E. H. Weber)。他的贡献在于他对于感觉极限的观察。例如，他用二针

---

① Merz，上引书 vol. Ⅱ，p. 211。

同时触刺皮肤的不同部分，在我们感觉有两处受到压力的时候，测量两点间的距离。他还研究了刺激必须增加多少，才能使感觉有所增加。在这里，他发现有一种确定的数学关系，即刺激应按每一步骤开始时的强度而增加，换言之，即按几何级数增加。

比较富于哲学头脑的人士，早已认识到这一新的观点。例如贝内克(Beneke)在1833年发表的《自然科学的心理学》(*Psychologie als Naturwissenschaft*)中就认识到这一点，洛采在1852年承认数学的方法适用于心理学的几个部分，费希纳(Fechner)在1860年首先使用"心理物理学"一词。现代学派在冯特(Wundt)的著作中就已经明显地出现了。他进行了许多测量，如测量了我们对时间的感觉，而且还把许多研究的线索整理成一个条理分明的体系。冯特虽然充分认识到分析方法在特殊问题的研究中的用处，但他绝未忽略内心生活的基本统一性。在这个问题上，达尔文的研究成果也揭开了一个新的纪元。达尔文对于人与动物的情绪表现的研究，是现代比较心理学的先河，这种研究对于认识人的心理有不少的贡献。

十九世纪后期，对于心理学上的问题——即身与心的关系的问题——最富特色的贡献是心理物理学上的心身平行的理论。这个理论的萌芽可上溯到笛卡尔、斯宾诺莎、莱布尼茨、韦伯、洛采、费希纳与冯特。生理的现象与心理的现象显然是平行的，纵然没有联系也属同时。这个理论认为意识是伴随神经系统内虽然复杂却可以研究的变化而产生的外部现象。对心理物理学来说，这就够了，我们不需要追问这一外部现象是否有其独立的存在。但意识的生活具有不断发展的能力，它表现在语言、文学、科学、艺术与一切社会活动上——一个心理价值增长的过程。因此心理学不但和语言、科学、语文学、语音学等联系起来，而且给予这些科学以新的

305

力量，并且通过这些科学由外面的世界深入内心思想世界。

研究自觉生活的统一性的中心问题，现时还不在精密科学的方法的能力范围以内，因为它仍是形而上学的问题。对于统一性的感觉是一个实在反映吗？内部心灵（或称灵魂）有其独立的存在吗？另一方面，象“联想心理学”后期的学说所设想的那样，这仅仅是一种由感觉、知觉与记忆等组合而成的后天获得的心理状态吗？心灵控制着身体吗？它仅仅是大脑的外部现象吗？还是有某种更高级的统一性呢？卡巴尼斯（Cabanis）以为与思想相联系的大脑的功能，应该和其他身体器官的功能一样来加以研究。福格特更以粗俗的口吻，说大脑分泌思想，正象肝分泌胆汁一样。这种唯物主义的观点，不但浅薄，而且不能令人满意，但它使得人注意到心理学向哲学提出的最大的问题。

生物学与唯物主义

如果说物质与能量守恒原理的发现加上原子论被人当作唯物主义的根据的话，十九世纪前半期生理学与心理学的同时发展，就加强了机械论哲学的地位。当时人们把这种机械论哲学与唯物主义混为一谈，这虽然不合逻辑，却是不能避免的。著有《生理学手册》(*Handbuch der Physiologie*,1833)的弥勒与韦伯是在德国首先把科学方法应用于生理学的开路先锋。以后就开始受到法国的影响，特别是在大脑与神经系统的生理学以及建立在大脑和神经系统生理学基础上的精神病的心理学和治疗上。再往后又有奎特勒出来把统计学应用到人的活动上。德国的福格特、摩莱肖特、毕希纳与其他唯物主义者都利用科学向新领域发展的事实来支持他们的形而上学的理论。一百年前在法国流行的论调，这时得到新的物理学、生理学、心理学的帮助，又复活过来，发展起来，在有些大陆国

家中，教会的守旧派有效地抑制了这些见解，到后来争取政治自由306的斗争就与争取学术自由的斗争结合起来，酿成了1848年的革命。

在后来的几年，在英国早有深入发展的工业改革开始扩张到大陆上来。科学，特别是化学，与日常生活发生密切的关系。在注重实际的英国，这一过程对于宗教信仰影响很小，但在讲究逻辑的法国与崇尚形而上学的德国，这个过程对于机械论哲学与唯物论哲学的方兴未艾的浪潮，肯定起了推波助澜的作用。此外，与唯心主义体系比较，唯物主义具有一种浅薄的简单性。毕希纳在《力与物质》(1855)一书中说："凡是受过教育的人不能理解的论著，都是枉费纸墨，不值得印刷"，因此，在德国，"唯物主义的争论"就普及到广大阶层中去，这在其它国家是办不到的。正像朗格(Lange)所说："在世界各国中，只有在德国，药剂师开处方时才不能不意识到他的活动同宇宙结构也是有关系的"①。

我们拜读十九世纪中叶自称为唯物主义者的德国人的著作时，不能不注意到，他们的唯物主义并不是和笛卡尔的二元论的一面相象的、彻底的、合乎逻辑的唯物主义。摩莱肖特、福格特与毕希纳总是把唯物主义与自然主义、感觉论、甚至不可知论混淆起来。事实上，唯物主义一词差不多可以包括一切与流行的德国唯心主义和教会正统教义相反的见解。这是一种叛逆的哲学，手边有什么武器，他就使用什么武器，哲学上的唯物主义，认为终极的唯一实在只是成团的死物质。这种哲学不能解释意识，也经不起批判的分析。但在条顿民族的氛雾里与这种唯物主义混淆不分的许多哲学体系却不是一下就可以驳倒的，因此这场讨论就拖了很长时间，而且一般来说，并没有什么结果。

① Lange，上引书 vol. Ⅱ，p. 263。

在这一思想领域中，特别是在德国，达尔文的研究成果是一条重要分界线。《物种起源》风行之后，德国哲学家在海克尔的领导下，把达尔文的学说发展成一种哲学信条。在这种达尔文主义基础上，他们建立了一种与唯物主义相关联的新的一元论，从此以后，各国这类争论就围绕着进化概念进行了。

达尔文在自然选择说基础上建立的进化论，经公认以后，不但使直接有关的科学发生深刻的变化，而且也在其它思想领域中引起深刻变化。现在论述于后。

307

科学与社会学

甚至在十九世纪的上半期，科学就已经开始影响人类的其他活动与哲学了。排除情感的科学研究方法，把观察、逻辑推理与实验有效地结合起来的科学方法，在其他学科中，也极合用。到十九世纪的中叶，人们就开始认识到这种趋势。赫尔姆霍茨说：

> 我以为我们的时代从物理科学学到不少的教训。绝对地无条件地尊重事实，抱着忠诚的态度来搜集事实，对表面现象表示相当怀疑，在一切情况下都努力探讨因果关系并假定其存在，这一切都是本世纪与以前几个世纪不同的地方，在我看来，都足以说明这样一种影响。

我们如果研究一下到今天为止的政治史，就会感到赫尔姆霍茨未免过于乐观。但是如果和以前的时代比较一下，就可以知道他的话是有相当道理的。在十九世纪人们才知道至少经济学问题有若干部分是适于用数学方法处理的，这种排除感情的专门的研究始终是有益的，其结果有时或不免于谬误，但至少是寻求真理的诚实尝试。

在统计学中，数学方法和物理学方法被明确应用于保险问题

与社会学问题。前面讲过数学方法和物理学方法本来是先在人类学中加以应用的。配第与格龙特以及奎特勒先后在十七世纪和1835年以后进行了这番工作。奎特勒证明，在不同程度上具有某种特点——如身长——的人数环绕着一个平均值而分布，因此，可以应用概率理论。他所得的结果，与赌博的机遇或分子速度的分配[①]相似，可以用类似的图解表示。社会统计学在英国由法尔(William Farr，1807—1883年)加以发展。他服务于登记局，对于医药与保险统计的改进颇有贡献，并且把人口统计放置在稳固根基之上。

在十九世纪末期，进化哲学深刻地改变了人们对于人类社会的看法[②]。它在事实上永远摧毁了终极目的论的观念，不论在今天的国家中，或将来的乌托邦里都谈不上有终极的目的。政治制度亦如生物，必须适应其环境。两者都在变化之中，为了社会福利，它们必须按部就班地前进。在一个种族当中有成效的制度，在另一个种族当中可能遭到悲惨的失败。英国式的代议政府不一定适宜于每一国家。身心方面的先天的差异与不同，得到证明以后，就摧毁了从生物学上来说"人人生而平等"的见解。

308

经济学也发生了同样的变化。科学时代早期的重形式的政治经济学，想要找出一些普遍的、永恒的、超时间与空间、对于一切民族都有效的社会规律。经济学的历史学派早就怀疑有这种绝对定律。他们从各方面证明，每一社会都有它自己特殊的经济规律，而且这种规律的表现形态又随着变动不已的环境而异。

政治制度与经济情况的变化，不象生物学上的变化那样缓慢。

① 参看 p.285。

② 参看 Cowles on Malthus,Darwin and Bagehot,*Isis*,No.72,1937, p.341。

然而就是在这种迅速的变化中，也没有办法通过捷径达到下一阶段，或预知下一阶段要把我们引到哪里去。旧时代的残余和新生事物的萌芽同时出现在我们眼前。正如形态学揭示出动物身上存在的有机演化以往阶段中有用的器官的痕迹一样，社会制度的研究也揭示了社会制度过去所经历的各阶段的痕迹。对这种痕迹加以正确的解释，常常可以推知它们的历史与起源。而弄清历史与起源，也就不难了解它们今天的意义和真正的重要性，甚至可以预测将来的前途。

如果人类演变至今所经历的过程与动物一样，人类今天也仍旧要同样地受制于变异与选择。1869年左右，高尔顿根据这一见解研究了人类生理的与心理的特点的遗传，断定必须让选择继续发挥作用，以便不但使种族朝着文明人一致认为是向上的方向前进，而且防止种族的退化。高尔顿把研究人类可遗传的天赋特点和运用这种知识来增进人类福利的学问，叫作优生学。

在现今文明的情况下，自然选择最有力的因素大概是疾病。凡是特别容易感染某种疾病的往往早死而无后，这样就从种族中消除了容易感染这种疾病的遗传特性。但第七章所说的环境变化，不 309 管是法律造成的也好，风俗造成的也好，或经济压力造成的也好，在混合的种族中，必然对于某些特性特别有利，这样就改变了居民的平均生物特性。高尔顿的研究成果，可以帮助人们更清楚地了解社会问题：生物学的知识也适用于政治学、经济学与社会学。但他的见解与十九世纪的平等思想很不调协，一时不易产生很大效果，直到十九世纪末，才得到部分的承认。

至于达尔文的研究成果，对于政治学说的影响，意见很不一致。布尔热(Vacher de Bourget)、阿蒙(Ammon)与尼采(Nietzsche)等人利用适者生存的原理来重新提倡贵族主义的思想。但是，另

一方面也有人以为恶劣的特性，在现在的情况下也未尝没有好处；贵族地位稳稳当当，就没有了竞争，因此也就没有了选择；而“机会均等”却是达尔文式进步的本质。社会主义者更指出动物为了互助而组成的社会，要求人们注意这种社会有巨大的生存价值，这样就在蜂与蚁的社会中找到了共产主义社会的论据①。但这种社会引向发展的终极，最后结果是停滞不前。人们观察蜂的世界，已有两千年之久了，在这二千年间蜂的世界并没有任何进步的迹象。这种社会是刻板的，功利的和自给自足的——它是把人的欲望和主动性消灭无余的共同生活的模型。由达尔文理论导出的结果这样分歧，至少说明一个事实：把自然选择的原理应用到社会学上，是一个异常复杂的问题，几乎任何思想学派都可以从这里面为自己的特殊学说找到有力的根据。

不论是在研究家族的历史的时候，还是在思考人类的起源的时候，人们都喜欢想象他们的祖先要比自己高贵，不认为他们自己在社会水平上和种族质量上胜过祖先，这是一种奇怪的心理事实。这种对于遗传价值的信仰同其它先入之见一样，自有其价值，大概比十九世纪的人所愿相信的更有价值，我们应该予以尊重。所以在自然与纹章院没有给人们以高贵的祖先的时候，人们就自己给自己找一些高贵的祖先，是完全可以原谅的。原始种族相信自己是神的直系后裔或为神所特造，也和这种情况相仿佛。文明人又何尝不是这样呢？当他们被迫在《创世记》与《物种原始》之间作一决择时，他们最初也是随着迪斯累里(Disraeli)高喊：他是“站在天使方面的”。

310

① 这是资产阶级学者站在反动阶级立场上对共产主义社会所进行的恶毒污蔑。只有无产阶级才能认识共产主义是最进步、最合理的社会制度。——译注

但人与动物有亲属关系，证据非常确凿，不久即为有理性的少数人士所信服。正象哥白尼与伽利略把地球从宇宙中心的地位上谪贬下来一样，达尔文也把人类从堕落天使的冰冷而孤独的地位上拉下来，强迫他们认识他们与鸟兽有兄弟的亲属关系。正象牛顿证明地上力学可以应用于天空与宇宙的深处一样，达尔文也要证明我们用来改良家畜的习见的变异与选择方法，也可以说明物种怎样产生出来和人类怎样从低等动物演化出来。达尔文的自然选择假说或许不能说明今天的世界里一个物种到另一物种的变化。但是新近的知识却完全证明了进化的一般概念。有机世界正如无机世界一样，可以从这个观点出发当作一个整体看待，这是人类心灵所得到的崭新而伟大的启示。

进化论与宗教

如果说达尔文对社会学的影响十分巨大，那末他对宗教理论与神学当时为宗教而创立的教义的影响就更深刻了。上帝分别创造万物的粗糙的教义被摧毁了。在现在看来，这虽然是各种结果中最表面的结果，但也是最明显的结果，冲突也是首先在这个问题上展开的。

中世纪，常有人注意推想各种生命的起源①。新教改革者注重圣经文义，因此人们对圣经就更加从字面上加以解释了。到十八世纪时，《创世纪》第一章所载的有机创造的细节，就被视为正统的看法。十九世纪，几乎整个基督教人士都有这样的信仰。地质学的研究，必定使人对厄谢尔主教(Archbishop Ussher)的年代学发

① *Darwin and Modern Science*, Cambridge, 1909; Rev. P. N. Waggett, *Religious Thought*, p.487.

生怀疑。他以为世界创造于公元前4004年，但是连一位有知识的人，在1857年还真的认为上帝是故意把化石放在岩石之内以考验人类的信仰的。从逻辑上来驳倒这种说法是不可能的；事实上，人们也未尝不可以说世界是上星期创造出来的，一切化石、记录、记忆应有尽有，但虽然如此，这一假说究属不可能。

311　1859年《物种起源》发表后所引起的争论，开始动摇一般人对于物种分别创造的普遍信仰。进化的证据逐渐增多，自然选择至少是进化的一个因素的证据逐渐增多，引起各国知识界的注意。而且，自然选择的原理似乎给予基督教旧教派的“天意说”以严重的打击。动植物身上表现出来的手段对目的的适应，经过一番自然科学的解释，虽然还不能对问题的奥秘给予完备的说明，至少有助于求得表面上的解决。这样就不再需要假设有一聪明善良的造物主，来说明身体构造的细节，或蝴蝶何以具有保护色了。如果还需要一位造物主的话，看来他早已离开这部巨大的机器，任其循变化的涂辙运转，不复加以注意了。

但是渐渐地人们就可以清楚地看出，进化论把难于成立的信条摧毁，实在是对神学的真正的贡献，不久神学家的领袖和胆怯的教士们，都先后认识到必须把世界的创造看作是一个连续不断的过程，而生命在本质上是一体的，比他们以前所设想的要更加奇妙和神秘。进化论虽然可以说明生物用什么方法从早期的形态进而发展到有复杂的生理与心理特点的物种，但对于生命的起源与基本意义，或意识、意志、道德情绪与审美情绪等现象，却不能有所说明。至于存在的大问题（为什么有物存在或无物存在），那就更没有谈到了。今天还有许多地方——事实上是整个宇宙——使人惊奇敬畏，使人虔诚探讨，使人崇敬不能目见之物。上帝在六日内创造天地万物一类幼稚故事虽然无人相信了，却产生了巨大惊人的

“存在”问题。

当赫胥黎、阿盖尔公爵(Duke of Argyll)和主教们为了进化论与《创世纪》展开热烈的争论的时候，比他们所讨论的问题更重要、更根本的变化，却在一旁悄悄发生。我们今天的正统宗教信条与仪节，有一些是从原始的崇拜演变而来的。少数思想家如休谟与赫德(Herder)早有这种见解，但在达尔文的研究成果的推动下，这种看法就成为比较宗教学研究的有效的起点。这种研究最新的结果是二十世纪的事。但在十九世纪结束以前，就已经发现一些惊人的事实。最先进行这种研究的人类学家之一泰罗 (Dr E. B.Tylor)，在1871年发表了一部讨论原始文化 (Primitive Culture)的著作。达尔文对于此书有以下的评论： 312

作者从低级种族的精灵崇拜一直探讨到高级种族的宗教信仰，真是了不起。从此，我就要用另一种眼光来看待宗教——对于灵魂等等的信仰了。

以后还有一些别的人从这面推进了人类学的研究。1887年弗雷泽 (J. Frazer) 发表了《图腾主义》 (*Totémism*) 一书，叙述图腾与婚俗，征引至为渊博。图腾信仰是由精灵崇拜而来的，不过礼节更加繁重，中心观念是图腾，所谓图腾就是一种神圣的动物，与按这种动物命名的部族或个人有密切而神秘的关系。野蛮人的生活异常危险，灾祸不时降临，而神秘不测的恶运更是他们力求避免的。因此，他们就形成一些他们认为可以帮助他们避免灾祸与恶运的风俗，谁违背这种习俗，灾祸就立降其身。

弗雷泽的《金枝集》(*Golden Bough*) 第一版在1890年问世。作者叙述了意大利阿里恰(Aricia)附近奈米 (Nemi) 地方的礼节。在那里，从很早的时候起，一直到古典时代，始终有一个僧侣执政，俨如君王，然后由另一僧侣杀而代之。各原始或野蛮民族的类似风俗都起源于所谓交感巫术，这种巫术用各种仪式来表演，每年的

季节循环的戏剧，包括收获时节万物的死亡，新春时节万物的欢乐复活等，以为这样才可以为人类祈得庄稼的丰收与家畜的兴旺。交感巫术还和对于死者的恐惧和其他因素混合起来，产生超人的神或魔鬼的观念，而膜拜自然的仪式，包括入教与通神的仪式，也就在新的意义下继续存在下去。最先采用进化观念的人类学家发现野蛮人的心理就是这样产生作用的，原始宗教的体系也就是这样形成的。他们的发现与文明种族的宗教早期历史的关系至为明显，但这种关系经过一定时期以后，才为大家所周知。这个问题或许不像万物分别创造的所争论的那样引人注意，但到二十世纪，它的影响却要大得多，今后更是这样。

这样，在自然选择的基础上建立起来的进化论，经人们承认以后，最初虽然在若干方面动摇了宗教的神学体系或教条体系（人们常把这个体系与宗教本身混为一谈），但是，后来又使这个神学体系受益不浅。基督教思想界除愚民主义派以外现已承认进化论，并且已经逐渐接受一般的现代观点。他们被迫重新讨论基督教思想的前提，已经有了一种虔诚探讨和思想自由的新精神。宗教家明白了，一套刻板、完备、一劳永逸地传给圣徒的教义，很容易在历史上的发现的冲击下陷于紊乱，于是他们就采取另一种观点，认为宗教观念也在进化之中，上帝在不断地向世人启示，在一定的时候，才有至高无上的表露，但从来没有停止向世人解释神的旨意。不但如此，这种现代精神，还迫使他们在宗教的研究中不能不适当考虑在科学中证明十分必要的观察方法。由于采用这个方法，就不得不考虑各种宗教经验，并承认神秘性的洞察力的价值，因为这种个人经验对于团体崇拜的仪式与维持传统的权威都能有所补充。

在宗教的实际方面（伦理方面）进化观念首先使科学同道德的基础问题发生密切的联系。如果道德律真像圣经所载，是上帝在

西乃山雷电中传授给人[1]，而一成不变的话，便无话可说。人有充分理由自定其行为的理想，不但自身履行，并在自己能力范围内迫使他人遵循。

如果我们对圣经上西乃山的说法觉得没有把握，我们就不能不寻找较稳固的立足点。在这方面我们有两条道路可走：要么赞成康德的主张，把我们良心的道德律看作是天赋的一种“无上的命令”，人只能把它视为不可解释、不能怀疑的最后事实而加以接受。要么，我们就必须寻找某种自然科学的解释。

边沁(Bentham)、穆勒与功利主义者，认为谋求“最大多数人的最大幸福”就是这样一种自然科学的基础。他们以为如果从幼稚期开始就进行同类相亲的教育，像进行宗教教育那样，并且尽力给与实施的机会，这种利他行为的推动力的功效是无庸怀疑的。西奇威克(Henry Sidgwick)对直觉学派与功利学派相反的论点，加以批评和调和。他以为道德的过程就是把注意的中心从暂时的与个人的利益转移到比较长远和比较广泛的社会福利上的过程。

但功利主义的伦理，只是在根据进化哲学加以修改以后，才接触到根本原则。首先有系统的尝试修改功利主义伦理学的人是斯宾塞，但是更极端的进化派伦理学则出现在德国的达尔文主义的新发展中。

自然，主要的论点是说，道德的本能是经过自然选择而保存和深化起来的偶然的变异。具有这种本能的家族和种族能够团结一致，互相合作，因此胜过没有这种本能的家族和种族。这样经过遗传，道德的本能就在人类身上发展起来的。 314

这不过是一种说明而已。这只是根据自然选择的假说，说明

[1] 见《旧约》，《出埃及记》第19章。——译注

道德的本能一旦存在，力量就不断增强。但生存竞争不但在种族之间进行，而且在个人之间进行，而生存竞争所必需的自私性，恰与道德律相反。大多数作家对于这种矛盾，比对于只有经过更深入的分析才能看出的社会团结，印象更深刻一些。他们以为“自然的齿爪上都染着鲜血”，道德成功的机会很小。例如，赫胥黎就以为宇宙的秩序与道德的秩序常在永恒冲突之中，而善良或美德，同可以使人在生存竞争中获得成功的特性，是截然相反的。

有一个时期，关于伦理学的内容，并没有争论。直觉派、功利派与进化派都不反对传统的道德，即基督教的道德，他们只是担心宗教教义这种推动力取消以后，传统道德也要垮台。在伦理学的实际方面，三派的意见完全一致；在思辩领域中则有不少纷争[①]。

但当注重形而上学的德国与讲究逻辑的法国完全理解了自然选择的观念以后，就有人把生存竞争的教训加以极端化。如果全盘接受进化哲学的话，有利于适者生存的品质，不就是真正合于道德的品质吗？尼采尤其倡导说，基督教的道德是一种奴隶的道德，不但无用，而且过时了，世界应该要求“超人”来启发和管理他们，“超人”会完全摆脱这些桎梏的限制。这一学说为政客和军国主义者所利用，加上1866年与1870年两次战争的成功，就酿成德意志帝国的心理状态，惹出1914年与1939年的浩劫。这种影响在法国只及于个人，而不及于政治；但是“生存竞争”却变成各时代想要找到一个漂亮借口来蔑视传统道德的无耻之徒的口头禅了。

批评这一套特殊的观念是很容易的事情。如果只有暴力与自私才是具有生存价值的品质，那末，按照进化论的假设就无法解释

---

① A.J.Balfour, in *Mind*, vol.Ⅲ,1878, p.67; T.H.Huxley, in *Nineteenth Century*, vol.I, 1877, p.539。

多数人的胸中肯定存在着的道德感或良心；另一方面，如果把道德 315
感的发展解释为人群间自然选择的结果，那也不能使道德感归于无效，只不过在少数人眼中，由于基础从天启宗教的武断戒律移到具有生存价值的社会本能上去，不免使这种道德感变弱一些而已。

自然主义伦理学的完备理论，在英国经许多学者，尤其是华德(James Ward)与索利(W.R.Sorley)加以批判的研究①。这两位作家都断言自然主义的拥护者想要单单在进化论的基础上建立一种伦理理论是徒劳无功的，对于宇宙的唯心主义的解释，不但是理性的形而上学所必需的，也是稳当的伦理学所必需的。

达尔文对形而上学的影响，本来很可以在讨论宗教的本节中一并讨论，因为就武断性一面来说，宗教也是一种形而上学，但是由于所牵涉到的问题，有出乎宗教范围以外的，所以整个这个问题最好留在下节中讨论。

进化论与哲学

要想估计进化论的确立对哲学思想的影响，我们须回顾一下以上各节所叙述的历史。

随着人们的思想，从一个时代向另一个时代前进，在怎样解释宇宙的问题上，机械论与唯灵论此起彼伏，轮番更迭，有如脉搏的跳动。到现在为止，这种转换对于认识的建全发展似乎是必需的。每当科学有巨大的进展的时候，每当一新领域被置于自然律之下(人们现在是这样看待这种过程的)的时候，人类心灵由于不可避免地夸大了新方法的力量，总以为马上就可以对宇宙提出完备的机械解释了。希腊原子论者对于

① James Ward, *Naturalism and Agnosticism*, 1899; W. R. Sorley, *Ethics of Naturalism*, 1885, 1904.

物质的构造，作了一种猜度。这种猜测恰好与现代的理论不谋而合，但从科学的观点来看，他们的证据实在薄弱。原子论哲学家在把他们的理论应用于无机世界以后，并不满足，还按照"原子的偶然集合"的观念，对生命和生命现象提出各种说明和解释。他们既不知道无机世界极其复杂，更不知道还需要探讨更多的新现象，然后才谈到去接近他们深信不疑地加以解决的生命问题。但原子论者毕竟有很大贡献，而且他们是在一种唯物主义哲学的启示下作出这种贡献的。他们的证据不足，早为柏拉图与亚里斯多德所指出。但是这两位哲学家也在可疑的基础上，建立了两种唯心主义的哲学，这两种哲学相继被基督教神学所采用，传到中世纪，被看作是足以表现古代希腊特色的思想。

316

至文艺复兴时代，知识的发展重新开始，见解的自然摆动再度明朗化。哥白尼的胜利，与牛顿解释天体现象的惊人成功，使人们夸大了他们的方法的力量。拉普拉斯以为只要知道组成宇宙的各质量的瞬刻构形与速度，一个头脑精细的人就可以算出宇宙整个过去与将来的历史。科学每前进一步，机械论的力量总是要被人过高估计，这已经成为当代思想的特色。其实当新知识完全消化后，人们就看出旧问题本质上依然未变；而诗人、先知和神秘主义者也就出来重整旗鼓，以新的言语从更优越的地位向人类宣布他们的永恒的启示。

大致说来，达尔文的成功的第一个主要结果就是机械论哲学浪潮的再起。我们不妨说：进化论的确立大大加强了自然界可以了解的感觉，并且增强了那些把他们的生命理论建立在科学基础上的人们的信心，我们这样说是完全正当的，而且毫无夸大之处。可以说进化论的确立，加上生理学与心理学，从生物学方面补充了在当代物理学中出现的一些趋势。这些趋势使人觉得很快就可以

用永恒不变的质量及有限的数量和绝对常住不变的能量，来对无机世界给予完满的说明了。

由于可以把质量与能量守恒原理应用于生物现象，人们就产生了一种过分的信心，以为生物机体的各种活动，不论是物理的也好，生理的与心理的也好，都可以解释为分子运动的方式，及机械的或化学的能量的表现。进化论的流行，造成一种错觉，使人以为既然我们已经懂得进化通过什么方法进行，问题也就完全解决了；既然我们已经了解了人类的起源与历史，人的内在精神的性质与从外面所见的人体的结构也就揭露出来了。正是在德国，达尔文主义的这一发展，最为流行。

这种情况，在海克尔的《宇宙之谜》① 一书中表现得最为明显。317 达尔文不但证明动物与人的身体的进化，至少一部分可以用自然选择来说明，他并且证明动物的本能，如其它生命的过程一样，也要在选择的影响下发展；而人的心理机能是和动物的本能类似的，也要经历类似的变化。海克尔在达尔文的研究成果的基础上建立了一种完备而不调和的一元论哲学。他认为有机与无机世界是统一的。碳的化学性质是生命的运动的唯一原因，有生命的原形质的最简单的形态必然是从碳与氮的无机化合物，经过自然发生的过程，产生出来的（可惜这个结论并没有直接证据）。心灵的活动不过是一组完全决定于原形质的物质变化的生命现象。每个活的细胞都有心灵的特性，而由单细胞原生动物的简单“细胞心灵”演化而来的人类心灵的最高能力，只不过是脑细胞心灵功能的总和而已。

这种见解可与克利福德的见解比美。克利福德同意贝克莱的

① Ernst Haeckel, *Die Welträtsel*, 1899, Eng. trans. London, 1900.

意见，也认为心灵是终极实在，但却持有一种唯心主义的一元论，以为意识由“心质”(mind-stuff)的原子所构成。

海克尔声称他自己的完备体系是建立在达尔文的理论基础之上的，而且附带地说明了达尔文直接影响这种类型的哲学的经过①。

我们现在完全同意一种对于自然界的一元论的看法，即全宇宙，包括人类在内，作为一个奇妙的统一体，都被永恒不变的定律所支配……我已经努力说明这种纯粹的一元论是根基稳固的，而我们既然承认宇宙为同一进化原理的全能规律所支配，就不能不提出一个单一的最高的定律，即囊括一切的“物质定律”，或质量守恒与能量守恒的联合定律。假使这个真正的“一元哲学家”查理·达尔文当初没有创立用自然选择说明人类起源的学说，为我们铺平道路，并且在他毕生伟大工作之余还把他的学说和自然主义的人类学联系起来的话，我们绝不会达到这一最高的普遍的概念。

达尔文本人大概不会赞同他的有名的德国门生的意见。事实318上达尔文本着谦逊的精神，对于他的研究成果的哲学意义，常默然不置一词。人类起源的问题，实在比达尔文的热烈信徒所设想的复杂得多。人的整个本性是一个更困难的问题，它是否可以在将来得到一个自然主义的解决，我们是无法断言的。但有一点是肯定的：这个问题至今尚未得到解决，并且在求得解决以前，还必须波浪式地经历许多回到机械论哲学和离开机械论哲学的反复过程。事实上进化论与十九世纪物理学结合起来所造成的一种特别思潮，已成过去。进化原理本身，就说明思想潮流永久在随时代而变动不已，而且过去的经验表明，这种发展过程不是稳定的和连续的，而是间歇与摆动的。

---

① E. Haeckel, chapter on“Darwin as Anthropologist”, in *Darwin and Modern Science*, Cambridge, 1909, p.151.

后期德国的唯物主义者与机械论者，主要是把他们的学说建立在生物学的基础之上。他们的教条受到柏林的生理学家雷蒙兄弟(Emil and Paul du Bois Reymond)的批评[①]。他们说明即使生命的问题可以归结为物理学和化学的问题，物质与力也只是从现象中抽象出的概念，并没有给与人以最终的解释。他们还断言有些问题是永远超出人类认识之外的。

这种认为人类智力有其限度的观点，与赫胥黎及斯宾塞的不可知论相似。然而毕尔生(Karl Pearson)以为对于认识加以这样的限制是危险的。他在《科学规范》(*The Grammar of Science*)[②]中以为凡不是用科学方法得到的结果，都不能称为知识，但他引用伽利略的话问道："谁愿给予人类的智力以限制呀?"他虽然承认尚有许多未知的事物，但却否认这些事物是永远不可知的，是超出科学研究能力之外的。

自然选择的原理，被斯宾塞与毕尔生应用于认识论。我们的基本概念，可以通过自然选择与遗传的过程得到，或至少通过那个过程发展。最适宜于表现和描写由感官得来的经验的各种观念和公理，将在世世代代的过程中确立起来，别的观念和公理却要遭到淘汰。因此，数学的基本概念，对于个人来说可以是"天赋观念"，对于种族来说却是经验材料。这是一个迷人的理论，不过，我们很难看出对于欧几里得几何公理或黎曼几何公理的天生的了解，何以能有很多"生存价值"或很多"配偶选择"的好处。或许他们认为这同其他更有吸引力的特性有关，也未可知。 319

① E. du Bois Reymond, *Ueber die Grenzen des Naturerkennens*, Leipzig, 1876; P. du Bois Reymond, *Ueber die Grundlagen der Erkenntniss in den exacten Wissenschaften*, Tübingen, 1890.

② 1st ed London, 1892.

就某种意义而言，自然选择理论获得公认是弗兰西斯·培根所开始和规划的哲学工作的完成，因为培根以为达到认识自然的唯一的道路是经验的实验方法。达尔文证明大自然自己在动植物世界所用的方法，也是经验的实验方法，正如德谟克利特与卢克莱修所猜测的一样。大自然尝试了一切可能的变异，经过无数试验，才在少数情况下成功地确立了生物与其环境之间的新的和更大的谐和，由此而进化不息。

如果从最充分的意义上加以接受，自然选择是对一切目的论的否定。看不到有什么终极的目的：只有个体与环境的不断的偶然的变化；有时二者之间偶然一致，这时从表面来看，暂时就好象有某种终极目的。

斯宾塞表述自然选择的用语是"适者生存"。孤立起来看这句话实在是一种循环论证：什么叫最适者？回答是："最适者是指最能适应生存环境而言"。这种最适者可以是一种比以前的类型更高级的类型，也可以是一种较低级的类型。通过自然选择进行的演化，可以是进化，也可以是退化。诚如鲍尔弗伯爵 (Earl Balfour) 所说，按照极端的选择论哲学，适的证据为存——适者存而存者适。我们也许想打破循环论证说，就全体言，进化创造更高级的类型，人类比他们的猿猴的祖先要高级。但这样，我们就自己负起了权威地宣判，何者为高级，何者为低级的责任，而彻底的选择论者可以回答说，我们的判断本身就是通过自然选择形成的，因此，我们的判断会欣赏那些实际上只是具有生存价值的东西，并把它列为高级的东西——所谓生存价值事实上也就是使我们可以生存下去的东西。从纯粹自然主义的观点来看，出路似乎是没有的。如果我们想要寻找另一种观点，我们就必须接受根据某种别的高低善恶标准所得出的绝对判断。

事实上我们不妨指出，我们为天地万物规定的高低次序大半是一个种族问题和种族的宗教的问题。在东方佛教徒看来，生存便是祸患，意识是更大的祸患。在他们看来，从逻辑上来说，生命的最高形式是藏在沉静的海底的原形质的单细胞，其后，各时代的一切进化实际上都是从这种沉静的理想境界向下堕落，而这种境界同以前的无机物质相比又是一种堕落。 320

达尔文本人并不认为自然选择说可以充分解释进化的过程。自然选择说也并未涉及变异或突变的原因。这种变异或突变可能是机体内单元成分的偶然结合造成的。正是由于这种偶然的结合，个体才按照概率围绕一个平均数值而分布，如观察所见的。再不然变异或突变就是有其它隐秘的原因。自然选择不能使变异发生，而只能淘汰无用的变异。它也不能说明更深刻的生命问题：如生命为何存在，生命为何到处尽量繁殖，以致达到和超出给养的限度。

从分析生理学及生物物理学与生物化学的观点来看，人可以说是一种机器，为理化的原理所支配：新旧活力论都是没有存身余地的。但当作一个整体来看——如在自然历史中那样——任何机体都表现出一种综合的统一，作为它所特有的生命的表现；人类把在其它动物身上可以看到的特性加以发展而表现出他们的心灵和意识具有更高度的统一，这是生命的一个新方面。进化论把这一综合过程向前推进一步，揭露出整个有机创造的基本一致。生命是宇宙过程的一种表现。原形质单细胞的生命，同塑造得奇妙而惊人的无限复杂的结构——我们所谓的人——之间，在各个部分都有着进化的联系。这构成一个问题，这个问题不能完全用科学的分析方法来研究，因为科学的分析方法总是要连续地从不同角度对它加以研究，而且在每个角度上，都要设法把它归结为它的最简单的成分；这个问题还需要哲学上的综观全局的观点，利用这种观

点，我们就可以“凝视生命，看到生命的整体”；我们如果能解答这个问题，其他附属的问题也就迎刃而解，我们也就可以了解真、善、美的内在意义，从而为伦理学、美学与形而上学找到一个稳固的基础。解答这个问题的一个线索，便是用达尔文的自然选择原理加以说明的进化理论。

第九章　生物学与人类学的进一步发展

生物学的地位——孟德尔与遗传——遗传的统计研究——人们后来对进化的看法——遗传与社会——生物物理学与生物化学——病毒——免疫——海洋学——遗传学——神经系统——心理学——人是机器吗？——体质人类学——社会人类学

生物学的地位

自十九世纪末以来，关于生命与其现象的知识大有进展，但指导人们取得这些进展的主要观念，却是在1901年以前形成的。二十世纪的数学与物理学，摆脱了牛顿的体系，在思想上引起一场实质上的革命，现在正在深刻地影响着哲学。二十世纪的生物学仍然遵循着上一世纪所奠定的主要路线前进。

十九世纪末生物学家接受了达尔文的研究成果，奉为定论，差不多放弃了足以表现达尔文的特色的实验方法——对育种和遗传进行实验的方法。自然选择式的进化论，被人当作确定不移的科学原理加以接受，甚至可说是成了科学信条。当时以为进化的进一步细节，最好在胚胎学中去寻求。这个信念的根据是梅克尔与海克尔的一个假说：个体的历史乃是种的历史的重演。

自然也有例外。德·弗里斯那时已经在进行变异的实验，1890年贝特森(William Bateson，1861—1926年)批评了海克尔的所谓

定律的证据的逻辑基础，提倡回到达尔文的方法①。贝特森于是计划并进行了变异与遗传的实验，后来很有成就。当时流行的达尔文学说，在物种起源问题上遇到很多困难，以下列二点最为严重：

第一个困难是变异大到什么程度才发生新种。讨论进化论的较老的著作中，总是假定（虽然有时没有明白地说出）积累起来形成新种的变异是很小的。但如果变异很小，这种变异对于生物怎么能够具有充分的有用性以致使具有这种变异的生物优于它们的同类呢？这就是所谓变异太小的困难或起初的变异的困难。

322

第二个困难大略相似。假定有变异发生，而且假定这种变异能够存留持久并由此形成长久存在的新种，那么怎样才能使它们长久存在下去呢？变异的个体与其不变异的同类交配时，是否会把变异消灭掉？这第二个困难常称为"杂交的淹没效应"②。

贝特森跟着指出，每一个植物或动物育种者都知道，与常态不同的小变异虽属常见，大的变异也是屡见不鲜之事。德·弗里斯与贝特森到1900年已经对于这个问题进行了不少的科学研究，足以证明大而不连续的突变绝非罕见，而且至少有一部分突变完整地传给后代。所以，新的品种可以很容易地迅速地确立起来，即令新的种还不能这样。当时还没有证据可以说明变异的原因；人们只是把变异的存在当做冷酷的事实接受下来。但是如果承认变异的存在的话，它们的不连续的现象，似乎很可以减少达尔文进化论的困难。而且就在同年(1900)又有一些新的事实（或者说久已遗忘的旧事实）被人发现出来。

① William Bateson, *Naturalist*, Memoir by Beatrice Bateson, Cambridge, 1928, p. 32.

② W. Bateson，上引书 p. 162. 这一段引自 *Journal of the Royal Horticultural Society*, 1900.

孟德尔与遗传

与达尔文后期的工作同时(1865年)，有人在布吕恩(Brünn)修道院进行了一系列研究。假使达尔文当初知道这件事，他的假说的历史可能就大不一样了。奥地利的西里西亚人、奥古斯丁教派的僧侣、最后担任康尼格克洛斯特(Königskloster)修道院院长的孟德尔(G. J. Mendel)，不相信单单达尔文自然选择的理论就足以说明新种的形成。他进行了一系列的豌豆杂交实验。他的研究成果在当地科学学会的丛书中发表，湮没无闻至四十年之久，1900年经德·弗里斯、科伦斯(Correns)与切玛克(Tschermak)等重新发现，并由这些生物学家以及贝特森等加以证实和扩充，才开始了现代遗传学的研究，使这门学问发展为精确的实验和实用科学。

孟德尔的发现的本质在于它揭示出，在遗传里，有某些特征可以看做是不可分割的和显然不变的单元，这样就把原子或量子的概念带到生物学中来。一个机体总是要么具有，要么不具有这些单元之一。具有或不具有这些单元构成一对相反的特征。例如以高茎或矮茎的豌豆和同类交配，则其后代也保存其特征。但如果使它们互相杂交，其后代杂种仍具高茎，貌似具有高茎的亲体。于是高茎称为“显性”特征，而矮茎称为“隐性”特征。但如果使这些高茎杂种以通常方式互相交配，它们的遗传情况却和它们所貌似的亲体有所不同。它们后代不是纯种，而是互相不同，3/4 有高茎，1/4有矮茎。矮茎的仍产纯种，但高茎的只有1/3产高茎纯种，其余2/3，在下一代中重演第一代杂种的现象，又再产生具有纯的矮茎、纯的高茎与混种高茎三类。

323

如果我们假定原祖植物的生殖细胞各具有高茎和矮茎两相反特征之一，则上面所说的关系不难解释。高的与矮的杂交以后，所有的杂种虽外貌与高的亲体、即具有显性特征的亲体相似，但其生

殖细胞有一半具有高茎特征，另一半具有潜伏的矮茎特征。每一个生殖细胞只有高或矮一种特征，而不能同时有两种特征。因此，当这些杂种的雄雌二细胞偶然配合产生新个体时，就高与矮两个特征而言，同类或异类细胞相配合的机遇相等；若为同类，则具有高茎特征的细胞互相配合的机遇和具有矮茎特征的细胞互相配合的机遇也是相等的。故第二代当有1/4为高的纯种，1/4为矮的纯种，其余一半则为杂种。但因高茎特征是显性，这些杂种在外貌上都和高的纯种相似，故就外貌而言，3/4是高茎的。

从物理学近来的趋势来看，这是饶富兴趣的事，因为这一理论把生物的特性简化为原子式的单元，而且这些单元的出现与组合又为概率定律所支配。单个机体内孟德尔单元的出现，正如单个原子或电子的运动，是我们不能预测的。但我们可以计算其所具的概率，因此，按大数目平均来说，我们的预言可以得到证实的。

我们以后还要说明在显性特征的情况下和在隐性特征的情况下，遗传方法有所不同。虽然某一个体在它本身具有某一显性特征时只能把这一显性特征传给它的后代，但在其世系里，可以料想不到地有一隐性特征出现。如果交配的两个个体在它们的生殖细胞内各具有表面上看不见的隐性特征，通常在它们的后代中大约有1/4表现这个特征。可是在多数情形下，遗传的条件，远比以上所说的豌豆里两个简单对照的特征复杂得多。例如特征之为显性或隐性，可因性别而异；特征也可相连成对，有的必须联袂出现，有的互不相容，从不同时出现。

324

在动植物中，有许多孟德尔式的特征已经发现出来；同时，人们运用这种方法来实际指导育种也收到很大成效，既可以设法把某些符合需要的特性聚集在一个新品种内，又可以把具有有害倾向的特性淘汰掉。动植物的育种者采用这些原理，已经用科学部

分地代替了纯经验方法。例如比芬(Biffen)就以选种法得到一个优良的小麦新种,既能不患锈病,又能有很高的产量,而且还具有某些烘烤特性,这几种优点所以同具于一个新种之内,是根据孟德尔的遗传定律,经过长期实验得来的结果。

在孟德尔的研究成果重新发现的时候,人们在研究细胞构造的时候已经发现每一细胞核内有一定数目的丝状体,称为“染色体”①。两个生殖细胞结合时,在最简单的情况下,受精的孕卵所含的染色体数目加倍,每种染色体都成双数,各从父母的细胞而来。孕卵分裂时,每个染色体复分为二,两个子细胞各有其一半。即每个新细胞从原来的每个染色体接收一个染色体。这种情形在每次分裂时都照样进行,所以植物或动物的每一细胞,各具有一组成双的染色体,相等地从父母两方而来。

生殖细胞起初也有一组成双的染色体,但在其变化为精子细胞或卵细胞的后期,染色体相联成对。那时的分殖法不同:染色体不分裂,而是每对的两成员互相分开,每一成员进入一个子细胞之中。因此每一成熟的生殖细胞接受每对染色体的一个成员,染色体数目减少一半。

细胞现象与孟德尔式的遗传事实之间的相似性引起好些人的注意。但最先对这个关系给予明确表述,而为人接受的是萨顿(Sutton)。他指出染色体与遗传因子都在分裂,在每一情况下,都是由各对遗传因子或染色体自行分裂,不与他对相干。

但由于遗传因子的数目比染色体的对数要多得多,按理应该有几个遗传因子与一个染色体相联系,从而结合在一起。1906年,贝特森与庞尼特(Punnett)在豌豆内发现这种相联的现象,例如颜 325

① T. H. Morgan 等, *The Mechanism of Mendelian Heredity*, New York, 1915, 特别是第一章。

色与花粉的形态等某些因子总是在一道遗传。洛克（Lock）说明了这一发现对于染色体理论的关系。

自1910年以来，摩尔根（T. H. Morgan）与其纽约同事，用繁殖迅速每十天一代的果蝇，对这些关系作了更详尽的研究。他们发现可遗传的特性的群数与染色体的对数，两者之间实在有数上的对应，即都是 4 。在通常的情况下，这个数字较大；豌豆为 7 ，小麦 8 ，鼠20，人24。

就是在有20对染色体的情况下，也可能有一百万种以上的生殖细胞，这样的两套可能的组合数目当更为巨大。由此我们很容易明白为什么在混种中没有两个个体完全相同。

遗传的统计研究

与孟德尔的研究同时，还有人按大数字进行统计，来研究遗传问题。奎特勒与高尔顿将概率理论与误差的统计定律应用于人体的变异。在二十世纪仍然有人继续进行这样的研究，特别是毕尔生和他的伦敦同事。

通常，只要对大数目进行一次统计就可以求得误差的常态曲线，或诸如此类的曲线，但德·弗里斯关于月见草的研究说明使用这种曲线有某些危险性。图 10 表示三个品种的果实长度的变化。横标代表长度，纵标代表具有某长度的个体的数目。A与C两品种具有特有的平均大小，其曲线与常态分配密切相似。但B曲线说明至少可以分为两群。如果将三个品种的种子放在一道测量，这三个曲线重合为一，而接近于常态形式。根据粗略数据常常很难判断材料究竟属于一类还是象在这个例子中一样由两群或多群所合成。

326

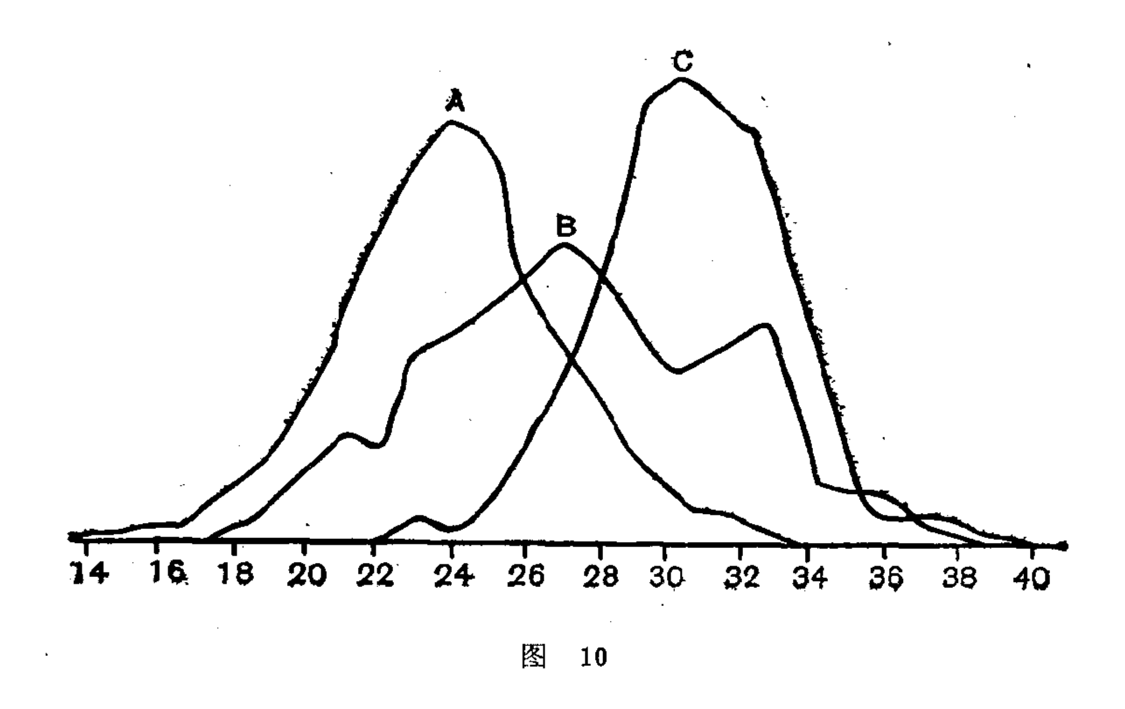


图 10

约翰森(Johannsen)发现：如果以一个单颗豆种作为一个自交世系的始祖，则这一“纯种”个体的变异(如种子的重量)，准确地遵循误差定律。但这种变异不能遗传；如果将重的种子选出加以培植，后代的种子并不比平均值重。

除去这种同祖的纯系以外，通常的混种都有由于祖先特性混合而产生的变异，这种变异是可以遗传的。选择双方都具有某种特性的亲体，如快速的跑马，常能得到一种品种，使所需要的性质高于平均值。高尔顿指出，身材高的父母所生的子女平均来说，即使不象父母那样高，常常也比种族内的平均高度要高一些。毕尔生等对这现象作了更详密的研究。如一个种族的男人平均身材为5呎8吋，则6呎的人较平均值高4吋。按大数目平均来说，6呎高的人的儿子，其平均身材约为5呎10吋，即较平均值高2吋，而较其父矮2吋。这一结果可以用统计术语即所谓“相关系数”来表达，为一半，或0.5。如果子与父身材同高，则此系数为1；如果儿子的身材回到其种族的一般高度，则无所谓关系，此系数为0。再

如儿子的身材反较其种族的一般高度为矮，则此系数为负。植物与动物的他种特性都有与此相似的关系，而且就任一特性而言，亲子间的相关系数常在0.4与0.6之间。法国一位世代选种者德·维莫兰(R. L. de Vilmorin)继续进行了变异和遗传的研究。他的工作像孟德尔的工作一样，当时并没有引起生物学家的注意。他证明，在育种时，要想得到最好的结果，并不在于选择个别的单体作327 为亲体，而在于选择平均表现良好的一种植物世系。这个结果不能证明达尔文关于微小变异的遗传的看法。

有一时期，孟德尔派与根据达尔文的概念、使用了统计方法的"生物测量派"之间，颇有争执。其实在关于遗传的任何完备的研究中，这两派似乎都是需要的[①]。

人们后来对进化的看法

随着古生物学上的证据愈积愈多，进化论作为对地上生命过程的一般说明，也愈巩固。例如，事实证明石碳纪并无被子植物，新种与新类的生物是后来才在地球上出现的。

有些生物学家仍然以为对小的变异起作用的自然选择如果时间延续很久，足可以解释进化。另一些生物学家以为在孟德尔的变异中肯定可以产生新的品种，所以新的物种是在孟德尔的变异中形成的。更有一些学者，其中还有一些现代思想界的领袖半信半疑，甚至抱怀疑的态度。例如贝特森在1922年说：

> 就其大体的轮廓而言，进化是很明显的。就事实而言，是必然的结论。但进化论中同物种的起源和本性有关的那一具体的根本的部分，仍然十分神

① R. H. Lock, *Recent Progress in the Study of Variation, Heredity and Evolution*, London, 1907；并看上引贝特森书第12章。

秘①。

系统论者仍然承认有界限分明的物种，无论达尔文的变异还是在遗传学的实验中所应用的孟德尔的突变，好象都不能说明物种的根本差异。也许早期的生物机体的可塑性较大，现在已经固定下来，因此仅仅有发生表面上的变化的可能。我们有证据表明就是在眼前，物种偶尔也有可能进入突变的阶段；人们认为，德·弗里斯所研究的月见草就发生了这种情况。

第七章所叙述的后天获得性能否遗传的问题，仍在争论之中，人们还没有普遍承认为了证明这种遗传而引证的事例是确凿无疑的。在动物身上发现的那种体细胞分裂而为生殖细胞的过程，在植物体内不能发生在那样早的阶段，所以后天性质的遗传，在植物内比较可能。关于最新的证据，我们可以提到鲍尔(F. O. Bower) 328 所搜集的一些证据。这些证据似乎说明长久连续存在的不同的环境可以在羊齿植物身上造成能够遗传的特性②。

这里又产生了另外一个困难。变异的发生好象是由于失去一些因子而不是由于增加一些因子。贝特森说：

> 就是在果蝇身上，在数百个遗传因子中，很少发现新的显性特征，即新增加的正的因子，而且我相信这些特征没有一个属于在自然情况下可以存在下去的一类。……但我们并不是怀疑进化的实在性或真实性，而是怀疑物种的起源，这是一个技术的，甚至可以说是驯化的问题。这个秘密随时都可以解决。近二十五年的发现，使我们第一次有可能合理地在事实的基础上来讨论这个问题。综合将随分析而来，这是我们不怀疑、也不能怀疑的事③。

同时古生物学家，特别是美国的古生物学家，搜集了许多成套

① William Bateson, 上引书 p. 395。

② F. O. Bower, *The Ferns*, Cambridge, 1923—1928, vol Ⅱ, p. 287。

③ William Bateson, 上引书 pp. 395—398。

的有机体的化石遗迹，数目远远超过以前，而且包括许多地质时期，证明生命以各种生命形态连绵不断；有几种生命的形态，似乎表明进化是遵循着一定路线进行的。这个问题的复杂与困难远远超过五十年前想象的程度。进化的大体趋势已经明瞭，但是要对进化的详细情况加以新的描述，还有待于更多的知识。

遗传与社会

遗传与变异的知识在人类身上的应用由于孟德尔的研究而大大扩大。许多缺乏病与疾病，如色盲，内特尔希普(Nettleship)所研究的先天白内障以及血友病，都是按孟德尔定律遗传的。有一种常态特性(眼中的棕色素)，经赫斯特 (C. C. Hurst) 研究，肯定证明遵循孟德尔定律，但也有不少迹象说明，人身的许多其他可遗传的特征，也象许多植物与动物的可遗传的特征一样是孟德尔单元。事实上，男孩与女孩的出生数目几乎完全相等极其有力地说明性别也是这种单元特性。如果所有的雌性细胞都具雌性，而雄性细胞中半具雌性半具雄性，这一现象便可解释。

我们知道在动物与植物身上，常有成对的单元特性相连出现，不可分离；或彼此相斥，不能同时出现。在人类身上，实验既不可能，而观察所及，也仅限于数代。但研究的能力若能扩大，我们无329疑地会发现人类也是许多单元特性的结合体；这些单元特性由双亲而来，互相有关，而且与内分泌腺体倾注于血浆内的各种分泌物的化学性质有关。这些孟德尔特性，究竟是构成人的基本结构呢，还是仅只是建筑在更深入的非孟德尔下层结构上面的表面型式，那就是一个有待将来研究的问题了。

1909年，有人企图使高尔顿的意见与1869年高尔顿发表他的

著作以后积累的知识相适应[1]。高尔顿本来十分重视遗传，孟德尔派的研究者，如赫斯特、内特尔希普等人的研究以及毕尔生与其门人的数学工作也都说明遗传十分重要，毕尔生和他的门生还把高尔顿的生物测量方法大加扩充。当时所有的证据似乎说明这样一个假定是值得研究的：现代国家里的混杂居民必然包含有一些具有各种不同先天特性的混合世系，它们受到了法律、社会、经济因素与变革所控制的自然选择的不断作用。因而居民里的各种世系的相对数目常在变化之中。虽然环境、训练与教育能使先天性格发展，并给予表现的机会，但却不能创造这种性格。有才能的人或天才是生就的，而不是造就的，一个民族所蓄的能力实在为自然所限制。

既然适者生存，如果适者的子孙不占很大的数目，则适者对于种族并无多大好处。因此人们就想到应该研究一下一个社会中各阶级的家庭的大小。根据有人对档案进行的统计研究，英国两代以上的世袭贵族，每一对可以生育的夫妇，自1830至1841年，平均生产7.1个子女，但自1881至1890年，这个数字已经降为3.13。其他能在《名人录》占一位置的有声望的人在1870年以前，每一对可生育的夫妇平均有5.2子女，但1870年以后，这个数字仅为3.08。在教士的家庭里与此相当的数字为4.99与4.2。就大尉以上的军人而言，这个数字为4.98与2.07。至于其他职业的人，详情虽有差别，但都有同样的趋势，有地产的阶级，自由职业者阶级，以及高等商人阶级的子女的生产数减少一半以上。根据技术工人所组织的友谊会的统计，他们所生育的子女数目的减少也大略相等。事实上 330

① W. C. Dampier Whetham and Catherine D. Whetham, *The Family and the Nation*, London, 1909.

每对可生育的配偶,平均须有子女四人始能维持人口的数目,可见就是在 1909 年,社会中最有效的部分,已经相对地与绝对地减少了。另一方面,信奉天主教的家庭、矿工、无技术的工人(更可惊的)低能的人们,仍维持其子女的出生数,而没有减少①。

这种差别的后果的严重性,只要计算一下就可以看出。如果勤俭的家庭,每对可生育的配偶仅有子女 3 人,而1,000人中的死亡率为15,则在100年后原有的1,000人将变为687个后裔。另一方面,在奢惰的1,000人中,如果他们的出生率为33,而死亡率为20,则100年后将有3,600个后裔。假使在1870年出生率开始有显著差异时,双方人数相同,则到1970年,勤俭者仅存其原数的1/6,到了2070年,仅存1/30。这样,勤俭者就淹没在大量繁殖的奢惰者的大海中了。

在人们进行了这一研究以后的二十年间,出现两个较有希望的征象:"制裁低能的立法",对于精神不健全者的出生,已稍加以控制(虽然还不够)。其次,伍兹(F. A. Woods)指出英美的上等社会中对社会作出贡献的人士,比较"惰富"有更多的子女,其平均数字的比率为2.44与1.95②。这一结果也许说明了节制生育的好效果。凡是想要躲避生育几个孩子的责任、花费与烦恼的人,是自绝于其种族之外。1909年③,英国政府宣告,生育许多子女是健康、贤良公民的责任,希望人人能够履行。

可是目前,展望仍然令人不安。在现今世界上,不断的进步,

---

① 这几段文字,是资产阶级学者的历史唯心史观所散布的种种谬论之一,作者站在资产阶级的反动立场上,对劳动人民的诬蔑与对共产主义的仇视交织在一起,表现了鲜明的资产阶级党性。——译注

② *Journal of Heredity* (American Genetic Association), vol XIX, Washington, D. C., June 1928.

③ 参看 *The Family and the Nation*, p. 228.

事实上还有一般生活标准的维持全靠了知识分子的工作。从事这种工作的一向只有少数人。他们大部分都出身于子孙日益减少的阶级，虽然他们的子女现在还没有减少到最低的水平。奖学金与 331 其他、从各阶级选拔贤能的方法也许能暂时弥补这一缺陷，但一国的才智有限，而且愈到下层社会愈稀少。这些人既变为知识分子，其生育率又再降低，最后遗留的只是无知识的无产阶级而已。这样，国家的优秀分子将逐渐被淘汰，文明前途亦日益危险。由国家控制大部分生产工具的社会主义的政府，在一个独裁或官僚统治的帝国里，也许能行之有效，即令不能给人民带来幸福，但在民主主义的国家则将失败。社会主义与民主主义在流行的政治术语方面虽然比较接近，但在实践上却难相容。近来某些国家里所实行的独裁制共产主义，证明这一种看法是正确的。

出生率的不同，不是现时起作用的唯一选择因素，我们还可以找出许多别的因素。疾病大概仍然可以消灭易感染者，而保留免疫者。有些法律，虽然是为了他种目的而制订的，却也常常产生选择的效果：如遗产税就使有产的旧家族迅速地被淘汰，而这些家族却是国家赖以维持地方公益事业以及教会、海陆军中的公益事业的。英奇(Inge)认为近来的立法有毁灭中等知识阶级的趋势。由于纺织工厂有雇用女工的习惯，纺织工人的出生率总是很低，而矿工都是男子，其出生率仍高。至少在1925年不景气以前是这样的。我们必须放弃十九世纪的观念，以为国家是许许多多有同等潜在能力的个人，只等待受教育，只等待机会。我们应该把国家看做是具有各种天赋遗传特性的家系的交织网，这些家系在性格和价值上有很深刻的差别，它们的出现或消失决定于自然的选择或人为的选择。任何行动，不论是社会的、经济的或立法的，都要有利于其中某些家系而不利于其他家系，因而改变国家的平均生物特性。

这些一般的观念得到有名生物学家贝特森在1812与1919年所发表的论文的有力的证实。[①] 如果旧的出生率与新的死亡率同时并存，则数百年后地球上将充塞人口而无立足之地。因此，限制出生数是必要的，但是更重要的是限制一国内的低劣的家系，而不是限制优秀的家系。不但如此，竞争不但存在于个人之间，也存在于社会之间。既有劣等的家族，也有劣等的种族。贝特森说：

332

哲学家宣布人人生而平等。生物学家却知道这句话是不正确的。无论测量人的体力或智力，我们都发现有极端的差别。而且我们知道文明进步纯出于少数杰出者的工作，其余的人只不过是摹仿与劳动而已。这里所说的文明，不一定指社会的理想，而是指人类在控制自然方面的进步。国家之间也如个人之间，有同样的差别。……各国间名人分配的不均，是生物学上的一个事实。法、英、意、德与其他几个小国，自文艺复兴以来产生了许多学术界的闻人。在特殊的艺术与科学，如绘画、音乐、文学、天文、物理、化学、生物学或工程方面，他们各有千秋；但从大处看，这些国家并无优劣之分。

贝特森指出另外一些国家产生的大人物比较少；他把这一事实归因于它们的生物学特征。可是这个困难问题不能看做业已解决。有些国家所以貌似劣等可能是由于它们还没有工业化；它们之所以贫穷可能是因为没有得到历史发展的机会，目前又没有机会使有才能的人出现。环境不能创造才能，而却可以很容易地摧残才能。总之，迄今为止，生物学的因素，社会学家研究得过少，而政治家简直不予过问。

遗传学研究的结果说明，人类社会，如果愿意的话，是可以控制自己的成分的。这件事做起来并不象从前所想象的那样困难。我们可以采取措施来除去那些属于人口中不良成分的家系[②]。

---

① William Bateson, 上引书 p. 359。

② William Bateson, *Mendel's Principles of Heredity*, Cambridge, 1909, pp. 304—5.

将来的希望在于种族中优秀分子的责任感。如果他们能多生子女(伍兹的研究结果告诉我们的,这正是眼前的趋势),则世界各国可以挽回近七十年来的不良选择的趋势,而逐渐提高他们的健康、美丽与才能的平均水平[①]。

生物物理学与生物化学

二十世纪初的生理学的最显著的特色,是运用物理与化学的方法来研究生理的问题。事实上,差不多可以说生理学已经分成为生物物理学与生物化学两个分支[②]。

胶体的物理学与化学对于生物学异常重要,因为组成生活细胞的内容的原形质是胶体,其核心较其他部分略为坚实。胶体对 333 于农业科学也变得重要起来,因为过去以为土壤是岩石风化出来的固体粒子和腐败的动植物质料混合而成的,今天则认为土壤是有机体与无机胶体的复杂结构,其中的微生物也起了重要的作用。我们脚下的土地是活的,而不是死的;土壤与其中众多生物的功能在于分解其中所含的或从外界得来的原料,使之变为土壤上面的植物的食料。

格雷厄姆在1850年已经认识到晶体与胶体的区别,后来又认识到二者性质上的差异,至少有一个原因是胶体的分子比晶体的分子更大。晶体如糖或盐的溶液是均匀体,但胶体的溶液是双相系,在二相间有一个确定的分界面,而且有足够大的面积,显示出表面张力的现象。

有些胶体分子颇大,在显微镜里也可以看见。这些分子的奇

① 在这几节中,作者大肆宣扬了反动的优生学"理论",应该严加批判。——译注

② Sir W. M. Bayliss, *Principles of General Physiology*, 4th ed. London, 1924. W. R. Fearon, *Intrcduction to Biochemistry*, 2nd ed. London, 1940.

异而不规则的振动,在1828年经布朗(Robert Brown)观测过,1908年贝兰(Perrin)证明这种布朗运动是邻近分子的碰撞造成的。如果是这样，胶体粒子应该和这些分子具有相同的功能。根据这些粒子的分布与运动,用三种方法求得的数字,同根据贝兰的假设所得的推论完全相合。

1903年西登托夫(Siedentopf)与席格蒙迪(Zsigmondy)发明"超显微镜"以后,就促进了对小的胶体粒子的性质的研究。可见光的波长在400与700毫微米(一毫微米即百万分之一毫米)之间，比这一波长更小的粒子无法清晰地看见。但是如果将一束强光射在这些粒子上,使发生散射现象,在观测者通过镜轴与光线正交的显微镜来看这些粒子时,粒子的大小和波长大致相等,粒子就在布朗运动中形成一些明亮的光轮;如果粒子大小比波长小得多,粒子就呈现一片朦胧不清的现象。先进的电子显微镜将在后面再加叙述。

胶体理论，由于研究了胶体的电荷性质而大有进步。胶体粒子在电力场里东奔西驰,说明这些粒子带有正的电荷或负的电荷,大概是由于对离子的选择吸附的缘故。哈迪(W. B. Hardy)爵士发现当周围的液体慢慢变化,由略带酸性而至略带碱性时,某些胶体的电荷发生逆转。在电荷为中性的"等电点"上,体系便不稳定,胶体即由溶液中沉淀而出。

334

由是可见粒子所带的电荷在胶体粒子的溶解中起了某种重要作用。试举一个大家所知道的例子:当牛乳变酸时,其中的乳酪即凝结。法拉第早已发现盐可以使胶体黄金的溶液凝结，格雷厄姆也研究过这个现象。1882年舒尔茨(Schultze)注意到凝结力随盐的离子的化学价而不同。1895年林德(Linder)与皮克顿(Picton)发现一、二、三价离子的平均凝结力之比,约为1:35:1023。1900

年哈迪证明活跃的离子所具的电性与胶体粒子所具的电性相反。1899年，本书作者根据概率的理论研究了这个问题，当时是根据这样的假定：要中和胶体粒子所带的异性电荷，使其凝结，需要把最低限度数目的单位电荷同时带到一定空间之内。离子所带的电荷与其化学价成正比，所以必须使两个三价的、或三个两价的、或六个单价的离子结合起来，而后才能具相同的电荷。根据数学计算，凝结力之比应为$1:x:x^2$，这里x是一未知数，视系统的性质而不同。设$x=32$，则得$1:32:1024$，与上面说的观测的数值接近①。这只是一个近似的理论，因为它把反号离子的稳定作用及其他扰乱因素都略而未论。但所用的方法似乎可以扩大应用于相似的现象，事实上还可以扩大应用于化学化合本身，类似的概率的考虑，现在也应用于化学的热力学，成为量子物理学的基础。

粘土内胶体的集合状况，决定重土壤的物理性质；当土壤的柔软成份凝聚时，这种土壤才能变得多孔而肥沃。而且由于原形质具有胶体的结构，胶体的带电性与其他性质，对于生物学也有很大的关系。例如，化学价关系在生理学上的重要性，可以从迈因斯(Mines)在1912年所发现的一个例子中看出来：角鲛的心脏对于各种三价离子的作用的敏感度比对于二价离子(如镁)的作用的敏感度约强万倍。胶体凝结时通常会把包含这种胶体的组织毁坏，幸又可以设法保护这些胶体不受电解质的作用。　335

法拉第已经知道加入一点“胶冻”就可以防止盐类对于胶体黄金的沉淀效应。自那时以后，迈因斯(1912)与其他生理学家研究过许多这类自身形成乳胶的保护性的胶体。这种乳胶质似乎形成

① *Phil. Mag.* 〔5〕, vol. XLVII, 1899, p. 474; also Hardy and Whetham, *Journal Physiology*, vol. XXIV, 1899, p. 288.

一种薄膜，覆蔽着胶状质点，不让它们与活动离子接触。

水的纯度经过反复蒸馏而增加，其导电度降落到一个极限值与每公升内大约 10^{-7} 克分子的氢 (H^+) 与羟 (OH^-) 离子的浓度相当①。如果在水里加酸，氢离子浓度自然增加，测量一种介质的酸度，常用这个量，不但在物理化学中常用，在土壤科学与生理学中尤其常用。例如在物理化学上，蔗糖的反转率(由葡萄糖变为果糖的变率)就与氢离子的浓度有关。在农业上，土壤的酸性程度乃是土壤是否需要用石灰处理的尺度。在生理学上，人血内适合于生命的氢离子浓度的最大范围似乎在 $10^{-7.8}$ 与 $10^{-7.0}$ 之间，常态界限为 $10^{-7.5}$ 与 $10^{-7.8}$。由常态反应改变到包含最大可能度的酸，只不过等于在五千万份水中加入一份盐酸而已。

动物体内包含有复杂的机制，以保持生命所必需的确切的调整。例如，霍尔丹(Haldane)与普利斯特列证明(1905年)，呼吸神经中枢对于血内二氧化碳的稀微增加，感觉异常锐敏，这时呼吸作用骤然迅速，而排出多余的二氧化碳。后来更证明起控制作用的因素是受溶解的碳酸影响的血内氢离子浓度。此外还有直接的化学控制。血液与细胞组织内各种物质，如重碳酸盐、磷酸盐、氨基酸及蛋白质等与各种酸反应，而成中性的盐。这样，这些物质就保护细胞组织，免受酸的作用，而维持近似的中性，所以这些物质叫做“缓冲剂”。

营养问题的研究，在二十世纪头二十五年大有进步，特别是发现有一种饮食虽然足以供给所需要的全部能量却不能使发育保持下去。1902年，霍普金斯 (Frederick Gowland Hopkins) 爵士进

336

① 为便利计，氢离子的浓度常写为 P_H，而以其对数的负值表示。例如纯水的氢离子的浓度为 10^{-7}，其 P_H 便是 7。

行了他的标准的实验。他证明，如果饲以化学上纯净的食物，幼鼠停止发育，但如果加入少许新鲜牛奶，则发育又复开始。所以新鲜牛奶包含有霍普金斯所谓的“附属的食物因素”。这种因素是发育与健康所必需的。后来的研究者把这些物体分为几类，通常称为维生素。维生素A与D主要包含在动物脂肪，如乳酪与鱼肝油及绿色植物之内，但两者的分布略有不同。维生素A能防止感染，并能防止一种眼病，后来知道它与维生素D是两种东西。维生素D是正在成长的动物骨骼的钙化所必需的。以后又发现一种惊人的结果，证明：将紫外线照射于儿童身体或其食物之上，在避免佝偻病方面，效果与维生素D相同。1927年，有几个独立的研究者从食物中提取出可以造成这种效果的化合物，并研究了它怎样在紫外线的影响下变成维生素。这是一种复杂的醇类，叫做麦角醇，很快就从酵母中制造出来，能发光，从而提供一种“盛在瓶内的日光”。维生素B存在于各种谷类的外皮与酵母之内，可以防治神经炎和一种脚气病。东方吃精米的人多患这种病。维生素C存在于新鲜绿色植物的组织和几种水果（特别是柠檬）内，可以防治坏血症。在美国近来还发现有第五种维生素，与维持生殖有关。差不多所有的维生素，只要有极少量，就可以产生特殊效果。这些维生素中有几种已经再分为两种或多种，因而增加了已知的维生素的总数。

内分泌器官对于动物机体的重要性，已经证明远远超出前人想象之上。除分泌肉眼可见的分泌物的腺体，如唾液腺之外，还有多种腺体倾注其分泌物于血液之内，向人体各部供应它们的健康与生长所必需的物质。

这些内分泌腺的机制与功能，一向视为神秘。1902年，贝利斯(Bayliss)与斯塔林(Starling)发现前人以为是神经反射作用造成 337 的胰脏分泌是肠内酸质作用所产生、又由血液输送到胰脏的一种

化合物诱导出来的。这种物质被他们命名为内分泌刺激物，平常是当胃内的酸性物进入肠内，需要胰液的作用时，才在消化过程中产生出来的。这一内分泌刺激物的发现，引起人们对于其他类似的内分泌物的注意。每一种内分泌物都在一个器官内产生，由血液输送至其它部分以显其功效。哈迪提议给予这些物质以"激素"的总名称。这个名称后来为贝利斯与斯塔林所采用，现在已经成为生理学上常用的名词了。

1922年初，班廷(Banting)与贝斯特(Best)从羊的胰脏中提取出一种物质，注射到割掉胰脏而患糖尿病的狗身上，可使其血液中糖的浓度减少，而恢复对于糖的消化能力。这种提取物是一种激素，名叫胰岛素。现时大量制造，用来减轻糖尿病，很有成效。

甲状腺激素对于身体与精神的健康都是必需的。幼年人缺少这种激素，发育便迟缓下来，而且可以形成一种叫做克汀病的白痴。患者的面貌呈特殊的形象。成年人缺少甲状腺激素，则发生所谓粘液性水肿。这种病可用甲状腺提取物医治，第七章内已经讲过了。另一方面，如果激素过多，则发生所谓格雷夫斯病，即突眼性甲状腺肿。甲状腺内的有效成分，叫做甲状腺素，1919年经肯德尔(Kendall)分析出来，其化学构造则在1926年经哈林顿(Harington)测定。他还在实验室中把甲状腺素合成出来。甲状腺素含有大量的碘，食物中缺乏碘质可使人患病，只需服用碘盐，其效果有时与甲状腺提取物相同。饲养牛羊和其他牲畜的实验已经证明，动物的机体也需要碘和食物中的其他矿物质。

几百年来，人们已经知道割去性腺的某些效果，但直到近年才有人对这个问题进行精密的研究。这种工作可以说开始于1910年斯坦纳赫(Steinach)的实验。他证明阉割后的蛙所缺乏的特征，可以用注射别的青蛙睾丸物质的办法加以恢复。其后更有实验证明

把生殖腺移植到阉割或衰老的动物身上，至少可暂时恢复青春的力量。

我们还可以举出一些别的例子来说明内分泌的作用。大脑垂体虽小，在过分活跃时，却可以使身体异常高大，容貌反常，称为肢端肥大病；另一方面，如果缺乏这种内分泌物，则身材矮小，而患侏儒症。还有一种激素名肾上腺素，藏于肾上腺中，当惊悸及失却知觉之时，便会分泌，注入血液，刺激所谓内脏神经。反之，如果注射肾上腺素，就会引起通常在激动或恐惧时发生的那些生理现象。这种激素已经分离出来，其化学构造也于 1901 年经日本人高峰(Takamine) 测定。

过去生理学多研究生物化学方面的问题而少研究生物物理学方面的问题，今天物理学方法的使用则日益广泛①。例如有人用测量渗透压和沉淀率的方法，来估算蛋白质的分子量（参看 256 与 431页）。

布拉格爵士父子(Sir William and Sir Lawrence Bragg)研究晶体结构的方法（这个问题将在后一章内叙述），已经应用于纤维素、丝蛋白、发角质与肌凝蛋白等丝状体。阿斯特伯里(Astbury)等人发现，根据X射线的照相图，可以用分子来解释这些东西的丝状性质以及在延伸时肌蛋白与角质的可逆变化。兰格缪尔(Langmuir) 用有机物的结构式去说明它们的物理性质。这一方法又由亚当 (N. K. Adam) 加以发展。他发现原子在空间的排列足以说明表皮膜的各种分子的情况。

唐南(F. G. Donnan)在1911年发表了关于平衡膜的理论。他

---

① Schmidt, *Chemistry of the Amino-acids and Proteins*, Springfield and Baltimore, 1938.

用薄膜将一个电解溶液系统分开，而这薄膜是离子中的一种——通常是一种胶体——渗透不过去的。根据这一理论，薄膜两边常有可扩散的离子作不均匀的分布，因而在两边的溶液之间，产生电位与渗透压的差异。这一理论在生物学上有许多应用。1924年，洛布(Loeb)用这一理论成功地说明了蛋白质的胶体性行，此后范·斯莱克(Van Slyke)与其合作者解释了血流里的离子事实。

339

血液的化学过程与物理过程近来更加明白①。血红蛋白分子中的非蛋白部分(或血红素)经证明具有四个吡咯环，为一个铁原子联接，是许多生物的呼吸物质中所共有的。在许多脊椎动物和某些其他动物的血液里，它与血球蛋白相合，成为运载氧气的血红蛋白质。差不多在所有的活细胞里，它都出现在所谓细胞色素的呼吸酶系里。维尔斯塔特(Willstätter)证明，在植物里，叶绿素分子的核基本上与血红素相似，只是以镁原子代替了铁。他发现了两种成份稍微不同的叶绿素，1934年他写出其结构式。其他金属也可进入呼吸物质中；例如多肽类的铜化合物存在于软体动物与甲壳动物之内，而钒蛋白化合物存在于被囊类海生动物体内。

在研究血液里氧运输问题的同时，人们还研究了组织里氧化问题②。这些变化的复杂程度各不相同，但每一变化都包含酶对于底物分子的作用，使氢分子可以脱离出来。维兰德(Wieland)查明这个过程受到许多存在于一切活组织中的特殊酶，即脱氢酶的影响。最简单的情形是一个分子受到一个脱氢酶的作用，放出氢，与氧直接化合。在这一过程里，通常有一个或多个氢载体参加进来。这些物质可以还原，又可以氧化，因而它们可以接收并传递氢

① E. H. F. Baldwin, *Comparative Biochemistry*, Cambridge, 1937.

② Needham and Green 主编, *Perspectives in Biochemistry*, Cambridge, 1937。

原子。这些物质里有瓦尔堡(Otto Warburg)的组织氧化酶，与"黄酶"(这是维生素 B_2 与蛋白质的化合物)，还有辅脱氢酶，森特-乔尔吉(Szent-Györgyi)的琥珀酸(丁二酸)，霍普金斯的谷胱甘肽与抗坏血酸(维生素C)等。

呼吸酶研究方面的主要进展，通常是在发现某种特殊毒物对于某种酶的作用的时候取得的。例如氰化物使氧化酶不起作用，麻醉剂使脱氢酶失效，而琥珀酸的氧化遇胡萝卜酸(丙二酸)则受到阻遏。

除了食物分子由于不断地脱氢而氧化之外，组织里还发生水解作用，这就要求分解时增加水分并要求氨基分裂。克雷布斯 340 (Krebs)近来对这些化合物经过怎样的过程成为尿素被排除出去的问题，进行了研究。一向认为尿素是氨和二氧化碳简单凝结而成的。他发现这里实际存在着一个复杂的化学反应循环。至于经过这些过程剩下来的小碎块怎样氧化而产生其余可用的能量，还不明白。细胞里二氧化碳的产生好象是由于羧化酶把它们从—C—COOH 群里释放出来的缘故；它们的活动需要有辅羧化酶(维生素 B_1 的磷酸盐)在场。二氧化碳在血液里是作为重碳酸盐输送的。梅尔德伦(Meldrum)与拉夫顿(Roughton)从血红蛋白里分出碳酸酐酶[1]，这种酶使肺内含重碳酸盐的血迅速地放出二氧化碳。

细胞可以不经过氧化，而靠了发酵——即分子的无氧分解——获得能量。巴斯德发现在酵母细胞里这两个过程是互相对抗的：发酵在无氧时发生，氧化出现时就停止。肌肉内糖原分解为乳酸的过程也是这一类型的反应。肌肉的收缩就是由这一过程造成

① C. A. Lovatt Evans, *Recent Advances in Physiology*, 6th ed., revised by W. H. Newton, London, 1939.

的。这一情况是1907年霍普金斯与弗莱彻(Fletcher)两位爵士发现的。近年来这个过程被分析为八个化学阶段，需要有两种物质在场作为磷酸盐的载体，而且至少为十种酶所催化。迈耶霍夫(Meyerhof)、埃姆登(Embden)与帕纳斯(Parnas)是这一领域中的主要研究者①。人们还研究了淀粉通过酵母的作用变为酒精的同样复杂的发酵过程,发现其中某些阶段与肌肉反应是一致的。

在呼吸载体与细胞酶当中,我们已经提到过维生素。这些物质当中某些物质的化学结构以及它们在细胞代谢的复杂过程中所起的作用,在1939年的战争以前,由于许多国家的许多研究者的辛勤工作,已经逐渐明白了②。不过在发现这些维生素以后,有一个时期，只查明一种维生素的化学结构，那就是抗佝偻病的维生素D；至于这种维生素怎样发挥调节钙和磷的代谢的功能，仍然弄不清楚。冯·欧勒在1929年发现维生素A与植物里的葫萝卜色素有密切的关系。这是一种复杂的不饱和醇类,是维持某些组织,如中枢神经系、视网膜与皮肤的健康所必需的。夜盲是维生素A缺乏病的早期症状。瓦耳德(Wald)已经阐明了这种维生素通过怎样的化学反应造成视网膜的感光色蛋白。同哺乳动物的繁殖有关的维生素E的化学结构以及可以使血液凝结，防止出血的维生素K的化学结构也查明了;它们都是醌的衍生物。

341

"维生素B"已经证明是许多物质的混合体。维生素B_1，也称抗神经炎素,存在于酵母和植物种子之内,许多研究者都分离出它的结晶，而认为它是嘧啶-噻唑类的化合物。上面讲过，它是脱羧酶的一部分，可以分解部分氧化了的碳水化合物。正是由于这些

① *Perspectives in Biochemistry.*

② W. R. Fearon, *Introduction to Biochemistry*, 2nd ed. London, 1940. L. J. Harris, *The Vitamins*, Cambridge, 1938.

化合物在缺乏这种维生素的情况下累积起来，才产生多发性神经炎和脚气病的特有症状。有些病人需要纯化的 B_1，才能治愈① 。维生素 B_2 在化学上叫做核黄素，对于细胞的氧化很有关系。复式维生素 B 的另外一个成分是烟草酸，很多年来即知其存在于烟草之内，是辅脱氢酶的一个组成部分，可以防治吃玉蜀黍的人常患的一种名叫陪拉格拉病(pellagra，亦名糙皮病)的缺乏症。一种吡啶化合物，维生素 B_6 可以防治老鼠常患的类似陪拉格拉病的皮炎。还有 B_3、B_4 和 B_5 尚在研究之中，一件有趣的物种差别是：雀鸟需要 B_3 而哺乳动物却需要 B_4。

B_1对于动物与植物同属必需之物，尤其储藏于植物种子之内。植物能自己制造 B_1，有些细菌、酵母与真菌，和动物一样，需从外面吸取 B_1。维生素 C 即抗坏血酸，好象在大多数动物体内都能合成。据现在所知，只有人、猴和豚鼠缺少了这种维生素才会患坏血病。就化学结构论，C 是最简单的一种维生素，极不稳定，具有高度还原能力的化合物，在结构上与糖相关，结构式为 $C_6H_8O_6$ (见253 页)，在细胞代谢里中大概充当氢递体。它在叶绿素和发芽种子里的胡萝卜素形成以前便形成了，因而维生素 C 可能是综合这些基本物质的机制的一个部分。在动物体内它大量存在于两种内分泌腺里，即垂体与肾上腺皮质里。

人们一向把维生素叫做是必需的微量食物。我们也可以把它们看做是机体不能自己制造的激素，因为激素与维生素相同，也是人体各部分健康与发育必需的微量物质。关于内分泌腺所制造的分泌物或激素的研究已经成为一种专门的学科，叫做内分泌学，是界于生理学与病理学之间的一种边沿学科② 。 342

① 例如本书作者，在患多发性神经炎时就是这样治愈的。

② Cameron, *Recent Advances in Endocrinology*, 4th ed. London, 1940.

我们对于性激素的了解近年来进步很快。在早期关于睾丸激素的研究(337页)之后,阿伦(Allen)与多伊西(Doisy)又发现了一些新方法,证明对割掉卵巢的老鼠注射卵巢提取物可以恢复其雌性周期。1927年,阿舍姆(Aschheim)与宗德克(Zondek)发现怀孕动物的尿是雌性激素的一种方便来源。人们已经把四种密切关联的雌激素分离出来,而且定出它们的化学的结构,还从卵巢提出第五种最活跃的雌二醇。在黄体内发现一种相关的物质,名叫孕酮,排卵后就在卵巢之内形成与妊娠的准备和维持有关。人们还定出四种化学性质类似的雄激素的结构。1930年,马里安(Marrian)指出,不论在雄性动物体内或雌性动物体内,雄雌两种激素都有,而且这种激素还存在于植物内;一种物质既可以充当雌性的激素,也可以充当雄性的激素,视条件而定。这些性激素都是甾醇,即菲的碳氢化合物的衍生物,与略带雌激素性质的维生素D有密切的关系,而且与肯纳韦(Kennaway)等人从煤焦油提出的致癌物质有关。但是甾醇结构并不是增进雌性性欲的活动所必需的,因为多兹(Dodds)和他的同事已经从一种简单得多的碳氢化合物合成了一些能够大大增进雌性性欲的物质。

性激素和脑垂体分泌的研究使我们了解到雌性周期的复杂的激素模式,因而开辟了有价值的治疗方法。有很大用处的妊娠试验就是靠在尿中寻找胎盘释放到血液里去的激素物质。

肾上腺皮质的激素近来被人制成很有效的药物,肯德尔发现这种药物是若干类似甾醇的物质混合而成的,皮质好象是这些物质的工厂与储蓄库。肾上腺皮质缺乏病叫做爱迪生病,如果在实验中将皮质割掉,几天后就会有死亡现象。

1924年,科利普(Collip)首先提出副甲状腺激素的有效成分,并发现它表面上具有蛋白质的性质。它调节钙与磷的代谢。如果

缺少这种激素，血钙就会降低，而出现手足搐搦的现象，即神经系统的过度兴奋，肌肉痉挛的发作；在施行手术割除生病的甲状腺时，由于同时割掉了不认识的副甲状腺，常常发生这种痉挛现象。

激素研究方面最有兴趣的一件事也许就是人们认识到垂体具有控制与统一调节作用。垂体激素负责刺激性激素的分泌和黄体的形成，这样就决定了青春期的开始，女性的月经周期的维持和妊娠的过程。垂体主宰授乳的开始，我们可以在没有卵巢的雌性动物(甚至雄性动物)的乳腺上来证明它的作用。垂体分泌物还影响甲状腺与肾上腺皮质。垂体提取物(垂体素)，往往能促进身体的代谢，增长脂肪的氧化，而降低碳水化合物的消耗。垂体激素的化学结构还不明白，但它们似乎具有蛋白的性质。

有些作者把激素类扩大到另一类所谓“神经分泌”的物质。它们以化学反应方式把刺激从神经末梢传到起反应的细胞[①]。1867年便发现一种这样的物质，名叫乙酰胆碱。1906年更发现乙酰胆碱注入血循环内，能暂时扩张小动脉，所以有显著而短暂的降低血压作用。乙酰胆碱的这一和其他反应，与刺激迷走神经或副交感系统其他神经所引起的反应相仿。因此，洛伊(Loewi)与纳夫腊迪耳(Navratil)断定乙酰胆碱可能是神经冲动的化学传导物。由于一种特殊水解酶的作用，乙酰胆碱在组织里的时间异常短暂，长期不能从动物身上提取出来，到1929年，戴尔(Dale)与达德利(Dudley)才从脾内取得。正如乙酰胆碱似乎是从副交感神经系的末梢释放出来一样，刺激交感神经系统也能产生一种传导物质。对这方面的研究成果有很大贡献的坎农(Cannon)把这种物质命名为“交感素”。许多方面，它和肾上腺素(即肾上腺的髓质所分泌 344

① 上引 Lovatt Evans 的书。

的激素)相象，例如升高血压与心率，但是人们以为这两种物质并不是一种物质，只不过彼此协作而已。

现代生理学和生物化学正在慢慢地闯入医学中。临床医学也不但提出问题，而且还为基础科学提供情报。我们可以以消化现象为例①。现在我们对消化现象的了解，实在应归功于博蒙特(William Beaumont)对于一位胃上受了枪伤的人的消化过程所作的观察(1833)，伯纳德(Bernard)关于消化道的研究以及巴甫洛夫后来关于消化腺的实验，这样就把生理学、病理学和治疗学结合在一起②。由于放射学的出现，由于1897年坎农使用一种含钡的不透光食物，临床医学家现在已经能够观察消化道，这是从前所不能办到的事。

哈佛的迈诺特(Minot)的研究成果说明饮食具有治疗作用。他发现让病人食肝或注射肝提取物就可以治愈从前认为不治的贫血症或阻止其继续发展。1928年，卡斯尔(Castle)发现用正常的胃制成的肉类产品也有类似的作用。1935年梅伦格拉奇(Melengracht)证明猪胃的幽门腺也包含有这种防治贫血的物质，这种物质在正常情况下是在胃里形成，从肠里吸收，而储蓄在肝内的。实践医学与理论生理学相互促进的另一个例子，是矿工痉挛病。在高温下从事沉重劳动的人出汗过多，由汗里失去过多的盐；如果他们只喝淡水，体液过度稀释，便发生痉挛而不能工作。矿工、火夫与冶炼工人自然爱吃重盐食物。近来根据生理学家的建议，发现让这些人饮用盐水，代替淡水，就可以避免这种痉挛病。

---

① 见本书258页和J. A. Ryle, *Background to Modern Science*, 第七章, Cambridge, 1938。

② Pavlov, *The Work of the Digestive Glands*, London, 1910.

病　毒①

本书前几版发行以来，超显微镜的病毒研究大有进展。许多疾病如天花、麻疹、黄热病、流行性感冒和普通感冒经过长期研究，现在已经认识到都是由于病毒所致。牲畜的口蹄疫，大瘟热，植物的郁金香折断病，马铃薯卷叶病，烟草斑纹病等就是现在发现起因于病毒的感染的几个尽人皆知的例子。 345

用未涂釉的磁器或压实的浸渍的泥土过滤有细菌存在的液体，可以把细菌过滤出来，但病毒却能随液体通过这些滤器。1892年伊凡诺夫斯基(Ivanovski)用烟草斑纹病证明了这个事实，七年后贝兹林克(Beizerinck)又重新发现了这个事实。莱夫勒(Loeffler)与弗罗施(Frosch)证明口蹄疫也有同样的现象。不过，现在，我们可以用火棉胶片制成特种滤器。这种胶片是用硝化纤维经过戊醇和丙酮处理后制成的，胶片上面有大小规律的微孔；微孔的大小可由水流穿过胶片上的一定面积的流速测定。

利用这种胶片我们就可以估计病毒粒子的大小，可是由于病毒形状不同，如有的是棒形，有的是球形，仍然有困难。别的几种方法是照相、紫外显微镜、高速离心机或让磁场对真空里的电子射线起作用的电子显微镜。用这些方法所得的结果大致相合。病毒的大小不等，大的接近小的细菌(300毫微米)，小的如口蹄疫病毒仅10毫微米，而一毫微米是一毫米的百万分之一。

我们所面临的主要问题是病毒的本质。它是微小的生物抑或较大的化学分子？美国普林斯顿(Princeton)的斯坦利(Stanley)用化学方法从烟草斑纹病病毒的悬浮液中得到一种高分子量的蛋

① Kenneth M. Smith, F. R. S., *The Virus*, Cambridge, 1940.

白质，具有病毒的一切性质。这种蛋白质有晶体的亲合力，而有些病毒是有规则的晶体。同时它们又具有生物的某些性质；病毒所造成的病有传染性，病毒粒子可以在新寄主身上繁殖。戈特纳(Gortner)与莱德劳(Laidlaw)都主张病毒是寄生物的一种高度分化的形态。我们或许可以把病毒看做是一种利用寄主的原形质的无包被之核。

病毒的化学说和生物说都满有道理，因此，我们或许可以跟着肯尼思·斯密斯(Kenneth Smith)说："现在还没有生物的确切定义或生命的确切衡量标准。在这里我们也只能引证一下亚里斯多德在二千多年前说过的一句话：'从无生命王国到有生命王国，大自然是逐渐过渡的，其间的界限是不清晰的和暧昧的。'"现在让我们暂时放下这个未解决的问题，至少在还没有得到更多的证据以前，把病毒看做是介乎生命与无生命之间的模棱两可的实体吧。346

病毒转移的方法有多种。在动物寄主身上病毒可以通过血液、神经或淋巴转移，视病毒的种类而定。至于由一个寄主身上转移到他一个寄主身上的方式，那常常是一个复杂的过程。要研究这个问题，可能就得进行大量实验，有时还会毫无结果。有些病毒在水中生活，有些在空气中生活。流行性感冒病毒浮悬在空气中的水滴里的时候，还可以保持其传染性达一小时之久。烟草斑纹病的病毒就是在空气内生活的一个例子。有时新寄主身上要有伤口，如动物身上的抓伤，植物根毛上的裂缝，病毒才能进去。有些病毒以昆虫为媒介，如靠吃玫瑰生活的蚜虫。大多数带病毒的昆虫都是在吸取花液时通过它们长长的吸嘴感染毒素的。番茄与观赏植物的病毒是靠牧草虫传播的，绵羊的狂跃病病毒和牲畜的红孢子病病毒，是由蜱传播的。斯密斯发现一种植物病，要有两种病毒才能引起这种疾病，其中一种由昆虫传播，另一种用别的方式传

播。这里只举了几个例子说明其间的关系是怎样复杂而多样。

有许多动植物的疾病的传染方式还不清楚。口蹄疫向我们提出的问题尤其困难。某些传染病的一次流行与另一次流行之间似乎没有什么机械的联系。普通昆虫似乎不是媒介。病毒可以逆风传染，因此，病毒大概不是由风媒传染的。某些动物，如兔、鼠或猬有时可能是祸患的根源。也有人认为病毒是一种名叫欧椋的候鸟群，由大陆带到英国去的。有一事实是为佐证，那就是，这种候鸟不去的苏格兰，很少发生那些突如其来的流行病。

免 疫

有关病毒的性质与其传播方式的实验，使人们能够更有效地防治和控制它们的危害，虽然某些早期的经验方法也是有成效的。本书第七章内已经讲过，天花病毒的移植和以后的牛痘的接种，是首先由杰斯提加以试验，后来又由詹纳加以更充分的研究的。人们常常发现病人得过一种传染病以后，就可以不再感染这种疾病。詹纳所用的牛痘或疫苗是一种微弱的天花病毒，可以引起一种和缓的局部病害，其所以能帮助身体抵抗病毒的感染，大概是由于形成了保护性的“抗体”（或“免疫体”），这种抗体和得过天花以后体内所产生的抗体一样。同样地，巴斯德利用感染狂犬病的家兔的脊髓制出了狂犬病的弱化病毒。如果将这些弱化病毒注射在刚得病的病人身上，在有毒的病毒还来不及分生的时候，病人身上就产生了防护性的抗体。 347

这种名叫“免疫”的复杂过程的性质还不很明白。1890年贝林(Behring)，北里柴三郎(Kitasato)在对破伤风有免疫性的动物血清里发现了“抗毒素”，不久又通过观察了解到动物有制造抗毒素的能力，而且这是一个极普遍的现象。

化学家兼细菌学家欧立希 (P. Ehrlich) 对早期的免疫学有很多贡献。他在1891年证明植物蛋白,如蓖麻子和相思豆,注射在动物体内以后,都会促成特殊的抗毒素的产生。

十九世纪末,人们才认识到在细菌和许多蛋白性的物质注射体内后,身体的反应是产生一些新化合物,去中和注入体内的物质。这些出现在血液或组织里的新物质叫做"抗体",而激发产生抗体的物质叫做"抗原"。

近来,兰德斯太纳 (Landsteiner)又阐明了抗原的特殊性质的化学基础。他把重氮化的芳香胺与蛋白配合起来,制成了人造抗原,并且证明,这一特异性是重氮化胺造成的,而不是分子的蛋白部分造成的(1917)。1923年海德尔伯格 (Heidelberger) 与艾弗里 (Avery)又前进一步。他们发现肺炎球菌的"可溶物"有抗原作用,按其化学结构来说是无氮的多糖。

抗原与抗体之间的反应还难于说明;至于免疫反应,有人说这是带相反电荷的胶体质点的组合,也有人说这是一种吸附现象。欧立希认为抗原与抗体按一定的比例而生化学变化。以后海德尔伯格与肯德尔的研究 (1935) 提供了有力的证据,说明抗原与抗体按倍数比例化合,因而海德尔伯格说这些化学反应很可能遵照经典的化学定律。

348 有些病毒疾病,如牲畜的口蹄疫,人的流行性感冒,可能是好几种不同品种的病毒造成的。对某一品种的病毒具有免疫性,也许并不能抵抗其他品种的病毒。在哥本哈根近来已经制出一种疫苗,人们希望它能够防治三种主要品种的口蹄疫病毒。

邓金 (Dunkin) 与莱德劳发现用甲醛使之弱化的犬瘟热的病毒仍然可以给人一些防疫能力,以后再注射活性病毒就可以证实这一点。另外还有一种双重注射法,即在动物体上,一边注射活性

病毒，另一边注射免疫血清。

海洋学

第七章内所讲的海洋学的研究有继续的发展，特别是鱼类的生态学。鱼类的环游在生物学上既值得研究，对水产的捕捞更有实际的意义①。我们常常发现鱼类到一定的区域去产卵，通常是向上游游动，然后又分散到下游去觅食。例如北海的鳕鱼与板鱼的卵和鱼苗都在深海里，而鲑鱼则产卵在江河上游，幼鱼下游到海里去生活，等到成长以后再回到原来出生处去产卵，好象它们每个都具有很好的记忆力。

欧洲的鳗鱼，经施米特(Johannes Schmidt)证明，在淡水里度过其成年时代，然后迁居到几千英里外的马尾藻海的深水里去产卵。施米特还发现住在苏门答腊的另外四种鳗鱼，在西海岸的深海沟里产卵，因为在那里，海水具有适当的深度(五千米)与适当的盐度。

许多海鱼以硅藻和其他小生物为食物。我们在第七章讲过，这些小生物统称为浮游生物。我们研究一下浮游生物的聚集与飘荡，就可以了解食物的所在处，因而也是鱼类的所在处；自第七章写成以后，这方面的知识又积累了许多。哈尔的哈迪(A. C. Hardy of Hull)教授等人对于北海上空昆虫的飞荡也进行了不少的研究②。

① E. S. Russell, "Fish migration", *Biological Rev.* Cambridge Phil. Soc. July, 1937.

② 参看*Reports of Development Commissioners*, H. M. Stationary Office。

349

遗传学①

自从细胞学和染色体方面的早期发现以来，科学家做了很多工作，帮助推进了遗传学，并开始影响植物和动物育种家的实用技术。

负载遗传因子或"基因"的染色体，在细胞里成对出现，而且在细胞分裂时每个染色体分裂为二，以便在两个新细胞核里再造成同样的对数。但是当生殖细胞形成时，每对染色体的两个成员却分离开来，各到每个新细胞去，这种过程叫做减数分裂或成熟分裂。生殖细胞里染色体的数目是基本的，被称为"单倍体"数目。在受精时，两个单倍体数目由于两个细胞核的结合而合在一起，这样造成的新个体，就染色体的数目来说，称为"二倍体"。但是，染色体也有可能倍增，即出现多倍性，因而在新的营养细胞里就可能出现两套以上的单倍体。这样，当细胞包含的染色体数目三倍于、四倍于或多倍于单倍体染色体数目时，就可能出现三倍体、四倍体或多倍体。例如多倍性就出现于小麦、燕麦与栽培的水果中。樱花是二倍体，梅是六倍体，苹果可能是稍微复杂的二倍体或三倍体。多倍体的情况对不孕的问题大有影响；如果多倍体在其营养细胞里有奇数的染色体，当生殖细胞形成时不能做均等的对分，那么，染色体分配方面的不规律现象就一定要发生，一般就要导致不孕。例如，在桃属植物中具有奇数染色体的多倍体，常不孕，因而不能结果，仅因其有观赏价值而被栽培。果实的许多品种，如苹果的一个品种Cox's Orange Pippin，各种桃与樱都不能

① C. H. Waddington, *How Animals Develop*, London, 1935; *Introduction to Modern Genetics*, London, 1939. J. B. S. Haldane, in *Background to Modern Science*, Cambridge, 1938. R. C. Punnett, in *Background to Modern Science*, Cambridge, 1938. C. D. Darlington, *Recent Advances in Cytology*, London, 1937. *Evolution of Genetic Systems*. Cambridge, 1939. G. D. H. Bell, *The Farmers' Guide to Agricultural Research*, *J. Roy. Agric. Soc.* 1932.

自身受孕，需要附近有某种其他的品种才能结果。

在解决牵涉两个遗传因子和发育因子的性别决定问题方面，我们已经取得相当的进步。我们前面提到的对男女出生数差不多相等的解释，现在认为是正确的。在人身上和许多动物身上，雌性生殖细胞只具有雌性，而雄性生殖细胞，一半具雄性，一半具雌性。在另外一些动物身上，这种关系反转过来，雌性动物具有两类生殖细胞。决定性别的染色体，在有些情况下，已经在显微镜下认出来了。例如在研究遗传用得很多的果蝇身上，雄细胞里的性别染色体，可以看出有不相等的对数，其中一对是钩状的。

还有人，特别是克鲁(Crew)对性别决定方面的发育因子加以研究①，他描述了家禽性别的颠倒。性激素在这里起了一定作用。350 我们不妨提一提同牡犊孪生而生殖器不完全的牝犊的例子——对这个未生犊的牝牛注射同胎的牡犊的性激素，就可以使它不孕。一种名叫后螠(Bonellia)的海生物，其幼虫可以成长为雄性，也可以成为雌性，视它在发育时究竟是依附另一雌体还是依附海底而定。从化学上来说，和病毒一样，它们的染色体是核蛋白所构成的，而染色体内的基因，也象病毒一样，或者是自身生殖或者是劝诱细胞的其余部分生殖它们。

受到基因影响的代谢的确切的化学阶段，在某些例子里，已经明白。例如有人在鼠身上发现一种基因，是导致矮小的原因。矮小的老鼠缺少制造两种垂体激素的细胞，如果注射了这一种激素就能得到正常的发育。蒙克里夫(S. Moncrieff)小姐从生物化学的角度说明了造成花的颜色的35个基因的作用。造成白化病的基因可以使缺乏色素的动物的细胞里缺少色素酶。已经发现若干基因，

① F. A. E. Crew, *Genetics of Sexuality*, Cambridge, 1927。

有一些对机体有害，有一些阻止发育，还有一些造成早夭。例如有些植物就继承了抑制叶绿素形成的基因。

在这方面遗传学与生物化学相互为用。遗传学家帮助生物化学家把代谢的过程分为各种连续的阶段，生物化学家告诉遗传学家是什么基因在起作用，最后也许还能告诉他们这些基因究竟是什么。生物物理学家与生物化学家的职责在于尽量从物理学和化学的角度去描述生命现象，但是也还有许多别的领域，在那里，这些解释至少暂时仍然是不够的。例如，谢林顿 (Sherrington) 就说[1]："在器官的功能起作用以前，身体的各种器官就开始在胚胎里发育。眼睛的复杂结构，在眼睛看东西以前已经形成。感觉与意识也是无法用物理学与化学解释的。"

人们研究生殖时发现受精有两个过程：即卵受刺激与卵和精核的结合。1875年，赫特维希(Oscar Hertwig)首先描述了这种过程。他观察了海胆的精子进入卵中的情况，看到两个细胞核的并合。刺激有时可以造成单性生殖，生物学家对这一过程进行了不少研究。例如施佩曼(Spemann)就进行了人工双生。如果一个正在发育的卵一分为二，便形成"同样的双生"，如果两个卵同时受精，则形成"兄弟式双生"，即可能与同双亲的两个子女一样，不一定十分相似。

351

施佩曼为了进行这一研究，使用了显微镜下的外科手术来考察水蜥，因为要在哺乳动物身上进行这样的考察，技术上的困难很大。胚胎上某些特殊部分的几小块组织可以决定发育过程，施佩曼称之为"组织中心"。它们好象包含有可以提供必需刺激的活性化学物质。例如两栖类身上的一个"组织导体"，是一种象性激素，

① Sir Charles Sherrington *Man on his Nature*, Cambridge, 1940.

维生素D和某些致癌物质那样的甾醇。

苏黎世的福格特(Vogt)等人考察了胚胎的进一步发育。他将原肠胚染色而观察其着色细胞的变化。至于胚胎的食物供给情况,李约瑟(Needham)在《化学胚胎学》[1]一书里,对已经获得的事实,作了简明扼要的叙述。

1900年左右,孟德尔的研究成果重新发现以后,跟着就发生了争论,一方面是贝特森所领导的孟德尔主义者,另一方面是毕尔生和韦尔登 (Weldon) 所领导的生物测量派。生物测量派持有严格的达尔文主义观点,以为进化是从连续的细小变异而来的。这两派敌对的意见,以后又综合起来,主要是靠了费希尔(R. A. Fisher)的工作。他用他在数理统计学上的研究成果提供了一种新的研究工具。要测验一组事实是否合于孟德尔的规律,我们现在使用毕尔生所发明的数学的判别标准。要找人身上的孟德尔式遗传的例子,我们便参考毕尔生所搜集的数据。诺顿(Norton)、霍尔丹、费希尔与赖特 (Wright) 运用数学方法在达尔文主义和孟德尔主义的基础上创立了一种多少带有诡辩性的进化学说,认为主要的遗传单元是基因而不是个体。由泽维里科夫 (Tsetverikov) 开创的关于自然群落的遗传的研究,证明各种族里可能存在着表面上同质的大数目的隐性基因。群落中品种愈多,自然选择的速度愈大,因为不适者被淘汰得更快;根据费希尔,适者的增长率与遗传性的差异度成正比例。

作为孟德尔式发育的基础的突变,在常态下也常出现,其中有一些可以用染色体的事实说明。但是弥勒发现, X射线对于果蝇的作用可以使突变的数目有所增加。 352

近来类人猿与类猿人的化石的发现给人类进化提供了证

① J. Needham, *Chemical Embryology*, Cambridge, 1931.

据[①]。在爪哇与中国掘出的化石有很多相似之点，但是中国的北京猿人在发展上处于稍高的阶段。有关人科起源的其他古生物学证据还有新生代的中新世与鲜新世地层里的森林古猿化石。这些化石的某几种在特征上已接近现代的类人猿，由此可见，向人科发展的线索和向类人猿发展的线索必定是在鲜新世的早期分道扬镳的。

新近在南非洲发现的猿化石有力地说明森林古猿很有可能是人科的祖先，虽然中间还有一些空白有待古生物学家的发现加以填补。猿人化石的新材料足以说明猿人具有人科的身材，特别是它们的肢骨已经可以和现代人相比。猿人可能是后期各型人的发展的基础，其中一个旁支便是穆斯特期的尼安德塔型人。

在进而讨论一般化石时，我们注意到，虽然在寒武纪岩层(如在威尔士北部所发现的)里，已经有大多数主要类型的化石，但在寒武纪开始以前便寻不着化石的记录了。在寒武纪（也许在5亿年前)和最古的岩石(根据放射物证据大约在20亿年前)两个时期之间的某一个时候，地上已经出现了生物[②]。生命起源的问题仍然没有解决。细菌与其他微生物的自然发生说已经为斯帕朗扎尼与巴斯德所否定（参看186，264页)。有人提出生命可能是由其他行星而来的。但是有生命的机体在宇宙空间的有强烈杀伤性的短波辐射里很难存活；人类为大气中的氧所蔽护，才得免于这些辐射的损害。因此生命必定起源于地球。比细菌更小而更简单的病毒——差不多和分子一样大的生物——的发现，重新提出一个老问题："像病毒那样简单的物体需要什么样的环境？在原始的无机

① W. E. Le Gros Clark, "Palaeontological evidence bearing on human evolution", *Biological Rev.* Cambridge Phil. Soc. April, 1940.

② C.F.A.Pantin, *Nature*, 12 July 1941.

物里是不是也可以找着病毒?"电子显微镜或可对解答这问题有一点帮助,但是这问题现时还只好谈到这里为止。 353

神经系统

生理学最重要的分支之一是神经系统的研究。机体和国家一样,须单元间动作一致,才能有效率与进步,神经就是单元间的交通机构,因而是生理综合的主要因素。在这一领域中,谢林顿爵士在1906年以后的年份中进行了现代的开路先锋的工作。亚德里安(Adrian)博士为作者写了以下一节:

在最复杂的动物体内,神经细胞及由神经细胞延伸出来的纤细的原形质,形成一个中心团块,依靠周边的神经纤维与其他部分相互交通。这就是信息从感官(接收器)传到中枢神经系统,再由那里传到肌肉和腺体的通道。神经纤维活动时,其表面常有电位差的微小改变。靠了研究这些改变(近年来还得到真空管放大装置的帮助),我们已经弄清纤维所传达的信息的种类。感觉信息与运动信息都是一串短促的"脉冲",彼此差异很少,两者相距的远近,视刺激的强弱而定。但中枢神经系统里的变化情况究竟怎样,我们还是不得而知,有待解决的问题是发现进去的信息怎样在那里汇总而又怎样变成出去的信息使得动物以适当的动作去回答外界的刺激。

要彻底解决这个问题,就意味着从心理学的角度说明动物的全部行为,但谢林顿证明,只要研究一下简单反射与其相互作用就可以弄清神经系统的许多"整体性的作用"。例如,只有当一群肌肉的收缩伴有对抗的肌肉的松弛的时候,才有可能产生有秩序的运动,而这种情况的发生则是由于进入的信息产生了双重的作用,既使某些神经细胞兴奋起来,又"抑制了"其他神经细胞。他还证明,抑制与兴奋两种状态的时间关系可以说明为什么一个反射可以顺利而准确地继另一反射而起。在谢林顿创始这方面的研究以后,大家的注意都集中于反射,认为这是了解神经组织的钥匙,加上巴甫洛夫的工作,就造成了现代心理学机械论的趋势。

脑是中枢神经系统的最高部分,同视觉与听觉一块发展,这两个器官与远处物体相感应,谢林顿特称之为"超距接受器"。心理

功能的位置在脑的一部分即大脑，而且特别是在大脑皮层。施刺激于大脑皮层的有限区域，四肢等部分便发生局部动作。弗里奇(Fritsch)与希齐格(Hitzig)在1870年首先对电刺激的效应进行了研究，后来又有些人绘出大脑皮层各区域图形并研究了各区域的反应。其中特别值得一提的有霍斯利(Horsley)、谢林顿、布朗(Graham Brown)与黑德(Head)等人。

354 小脑是脑的另一部分，经人证明与身体的平衡、姿势与运动以及三者所需要的复杂调节有关。小脑接受肌肉与内耳的刺激，而作出反应。

不随意神经系统控制身体的无意识的机能。首先对不随意神经系统进行透彻研究的是加斯克尔(Gaskell, 1886—1889年)和兰利(Langley, 1891年及以后)，他们证明这一神经系统虽然有一定程度的补助的独立作用，本质上仍然是脑脊髓系统的支脉，并且受它的总的控制。

巴甫洛夫在1910年指出，在研究高级神经作用时，不必象通常那样，引入心理学的概念。较简单机能的确定的无条件反射，可以变为受其他因素约制的较复杂的反射，但观察刺激与反应的方法仍可使用。如果一种现象经常与食物联系在一起，单单这种现象本身就能导致食物所引起的反射动作，例如开饭的铃声可以使人垂涎。这个研究方法没有涉及居间的意识的终极本性问题。但却促成了一个心理学派的诞生：行为主义的心理学，象生理学一样，在自己的研究中，对意识是不加注意的[1]。

---

① Pavlov, *Conditional Reflexes*, Eng. trans., Oxford, 1927。

心 理 学

在十九世纪，韦伯（Weber）等首先把实验方法应用于心理学。由于在心理学中采用实验方法，以后的研究者就创立了一种可以明确列入自然科学之列的心理学①。视、味、嗅、触等感觉的灵敏度，可以用机械的方法测量。比较复杂的同类测验，可以估计记忆、注意、联想、推理与其他心理功能；还有一套测验可以用来研究疲乏，对于刺激的反应，手眼间动作的配合。例如芝加哥凯洛尔（Kellor）女士就进行了一些实验来研究情绪对呼吸所产生的影响。结果她发现黑种女人不象白种女人那样容易受到影响。在这种研究中，心理学都使用了自然科学的客观的与分析的方法。

纯粹生理学家研究肌肉收缩，内分泌，神经冲动的传递及神经冲动与中枢神经系统的联系的物理学与化学，心理学家从精神角度研究这些身体上的表现。例如黑德爵士对于失语症一类病症的 355 研究就远不止具有医学上的意义。1914—1918年大战中，神经病学家由于研究局部创伤在心理上的影响，而得到许多心理学上的新事实。

海尔巴特、穆勒父子(Mills)与贝恩等联想学派，以为自我并不象以前的正统观点所设想的那样是心理表象的预先存在的源泉，而是相异的观念的联想关系所形成的。巴甫洛夫所倡导的“条件反射”的生理学更促进了这种想法，自然要导致所谓行为主义的心理学。行为主义的心理学是沃森在1914年和以后的年份中创立的。这个学派的基本观念，在1894与1914年就已经由英国心理学家摩尔根(Lloyd Morgan)提出。动物心理学的美国学派就是他创

---

① C. S. Myers and F.C. Bartlett, *Text-Book of Experimental Psychology*, Parts 1 and 2, Cambridge, 1925.

立的。

这些研究者摆脱了用意识去解释动物的行动的流行观点，而动物的行为和人的行为，象客观地观察物理与化学的事实那样。没有人能从外面探测到他人的意识、感觉、知觉或意志；在研究刺激与反应时必须把这些放在一边。人眼的角膜一被触及，就要眨眼，观察者对于刺激所引起的感觉，实一无所知。

新生的婴孩不学而能的反应为数甚少，仅仅有呼吸与啼哭等基本动作。只有高声或骤失支持能引起他的畏惧。但只要某种条件几次伴随这些事件发生，小孩不久就学会对这种条件产生畏惧，而不问其间是否有真实的联系。换言之，即条件反射已经建立。这种条件反射一经建立之后，就只有通过打破自动的联想的"非条件化"的缓慢过程才能废止。

据沃森说，思想是一种第二性的产物，它是通过语言的习惯缓慢地获得的，正象打网球与高尔夫球的技巧是通过肌肉活动得来的一样。小孩喃喃自语，是外来刺激引起的一种反射行动，心灵上的形象是以词为中心而建立起来的，以后小孩才逐渐知道不高声讲话要更好一些。但他以为，刺激总是要引起不完全或不发声的言语。如果我们真的要思想的话，实在是先说而后想。

这一理论的确有几分真理。凡是注意倾听茶余闲话或政治辩论的人都不能加以否认；从心理学的观点看，这一理论也有不少可以学习之处。可是它的哲学意义却不应给予过高的估价。如果说按照机械学的定义，人可以看做是一架机器的话，那么，在行为主义者眼里，人就仅仅是刺激与反应的关系，因为行为主义，从它的定义与定理来说，只是一门研究刺激与反应之间的关系的学问。就行为主义的成功方面而言，它证明它的假设导致与事实不相违背的结果，但这些假设的最后实在性的证据，不管它的价值如何，

356

是形而上学的，而不是科学的。

现代心理学，在工业问题上有一个实际的用途。工业活动需要人来做，而人是有情绪、偏见与冲动的，大半很难服从理智或“开明的自我利益”。工业心理学家的职责就在于研究这些因素和更简单的因素，如疲乏之类，这样来调整工序活动，使工作不致引起过分的疲劳与厌倦。

每个人在活动中都有自己的自然的节奏与一定的周期活动速度；如果要想得到最好的结果，就必须顾及这种个人的特点。工厂里体力劳动的程序，都经过精密的研究，务使工人的动作简单化，或更有节奏，以避免疲劳，而增进其生产的效率，在美国尤其是这样。

同样，教育心理学也开始用观察和实验的方法对儿童心理进行研究。人们已经发明了测验儿童的心理活动与敏捷程度的方法，还有日益增多的迹象说明，可以想出一些办法来发现特殊才能以决定儿童的前途。

心理学在医学上也日益重要。过去一直有人想要发现与心理变化相应的脑内的物质变化，但很少成功，就是在疯狂病人的观念和情绪完全错乱的情况下，生理与病理的测验方法也发现不了丝毫异常的状况。随着每一心境或思想的变化，的确有物质变化，这是无可怀疑的事，但在还没有确切了解以前，我们只能从心理学的角度去解释心理与其错乱。现代精神病理学所涉及的范围较其名称为广，因为变态的研究有助于常态的了解。精神病理学的兴起主要应归功于弗洛伊德(Freud)的研究成果所引起的广泛的兴趣。357 他研究了无意识的行动与其原因。他所用的方法后来形成一种考察心理的方法叫做“心理分析”法。弗洛伊德的研究成果在现代心理学里加强了决定论的观念。他认为自细小的过失一直到最宝贵

的信念，一切的一切都是由于强有力的本能的作用所致。这些本能随身体而成长；如果它们的发展受到阻挠或歪曲，它们就可能成为精神不健康的原因。

心理学的另一种应用，就是所谓灵魂的研究，我们还不能断定这种研究是否能产生有科学价值的结果。在"唯灵论"的现象中，有许多是出于自欺或有意的诈骗。但在合格的观察者眼里，即使把一切欺骗成分除去，仍有一些现象不能解释，值得加以科学的研究。要考察这些现象，研究者必须有特殊才能，对歇斯底里和邪术家的法术都要有一些经验。灵魂研究学会的刊物中载有许多精细的研究，但唯灵论的解释是否合理，有资格的人士尚无一致的意见。在获得更多用严格的方法检验过的知识以前，我们最好不下判断。

人是机器吗？

在最近三百年的生物学史上，活力论与机械论互为消长。笛卡尔的二元哲学认为，肉体与灵魂相反，纯粹是机械的，确实是唯物主义的。十八世纪中期和末期的法国百科全书派更进了一步。他们把自己的哲学建立在牛顿的动力学基础之上，以为人（肉体与灵魂）不过是一架机器。这种见解，不但受到正统派的神学家的批评，而且受到其他作家的科学上更有力的批评。十八世纪末，主要由于比夏的影响，活力论又复抬头。以伯纳德为领袖的十九世纪的生理学，加上自然选择的进化论，引起一种向决定论方向发展的反动，在德国的哲学上的唯物主义学派与生物学家（如海克尔等）中，这种倾向尤为显著。

诺登许尔德(Nordenskiöld)① 与李约瑟② 对这场争论的最近

① 上引书603及以后各页。

② Joseph Needham, *Man a Machine*, London, 1927.

历史作了扼要的叙述。实验生理学家与心理学家根据力学物理学和化学定律也适用于有生命物质的含蓄假定，不断地扩大研究范围，以为在这种范围内机械论似乎足以充分解释生命现象。但有些生物学家，感觉未知的境界还很宽广，或者对有生命的机体的表面上的目的性深有所感，因此又以为只有把有生命的物体看做有机的整体，才能解释事实。

358

在这些研究者之中我们不妨试举几人：冯·于克斯屈尔（Von Uexküll），1922年以为有生命的机体的特点，在于它们是时间中的单元，又是空间里的单元；霍尔丹（1913年）以为在外部和内部环境改变的当儿，动物常有守常不变的倾向；杜里舒（Driesch）以为胚胎的早期发展只能以一种非物质的导引力量去解释。他如汤姆生（J. A. Thomson）、罗素（E. S. Russell）与麦克布赖德（W McBride）等都在生命的复杂现象中，举出了一个或几个无法给予机械解释的事例。

至于哲学家里格纳诺(E. Rignano)认为有生命的物质的本质就是有目的性——有一定目的，力求达到一个目标。这种目的性控制了身体与心灵的生长与功用，远不是机械与化学的盲目力量所能及的[①]。例如他说：

> 有生命的物质从溶解在营养液里的极复杂的化学物质之中，丝毫不差地吸取可以重建其机体、保持其本来面貌的化合物或化学基。正因为是**选择**，这个过程才有显著的目的性。

新活力论者的许多论据，建立在现今生物物理学与生物化学知识的空白上面。依赖这种暂时的无知是危险的。这些论据已有一些为新近的研究所驳倒。其他论据，如上面所引的里格纳诺的

① E. Rignano, *Man not a Machine*, London, 1926.

话，在发表时就已经可以加以驳斥。我们只须指出：有生命的物质除了吸取重建其机体的化合物外，也能吸收毒害它的毒物。

洛采认为世界上的机械作用是有绝对普遍性的，也完全是附属性的。只有机械论的看法才为实验者提供了可用的工作假设。这只是"一种观点"，但在它的范围以内，它是至高无上的。物理科学从数与量度的角度去看自然，机械论的思想线索则由心灵的机杼织到它的基本结构中去。目的论的方面同科学是格格不入的，也必然是格格不入的，虽然它也可能是实在的精神方面的一部分或整个过程的意义的一部分。

359

韩德逊(L. Henderson)提供另外一种解答。他指出环境也象机体一样带有目的论的痕迹①。生命，至少是我们所知的生命之所以能够存在，仅仅是由于碳、氢与氧的特殊化学性质以及水的物理性质的缘故。生命也只能出现于我们这个世界上的温度、湿度等情况相宜的窄狭的条件范围内。因此，有机目的论当包含于宇宙目的论之中。

尽管生物物理学家与生物化学家用物理学和化学的概念解释生命现象，十分成功，愈来愈成功，作为一种哲学看，机械论也还有错误。从笛卡尔以来，机械论者以为物理科学揭示了实在，其实它只是从一个角度来看实在的抽象概念。因此，人们才周期性地认识到机械论不是对于实在的完备解释，这就自然要导致活力论，而认为有一种暂时地或永久地与肉体联系着的精神或灵魂，可以控制或甚至停止物理定律，以达到某种预定的目的。

活力论者的谬误，似乎在于他们企图把目的的概念应用于生理学上的有限度的科学问题。这些问题，按其性质，只能用物理学

① *The Fitness of the Environment.* 见上引书357页脚注。

的分析方法去解决，至于目的（如果有所谓目的的话）只能在整个机体之中起作用，而且或许只有在用形而上学的方法研究实在时才能把这种目的揭示出来，因为只有这种研究才与存在的全体有关①。

我们还必须指出：从1925年开始的物理学的最近的变化，看来很可能削弱了机械决定论的论据。哲学给科学上的决定论找到的最有力的证据，一向是从物理学中得来的，因为人们以为在物理学中，存在着具有数学必然性的体系。但如后章所述，新的波动力学好象说明测不准原理乃是物质的基本单元即电子的基础，因此要同时精密测定电子的位置与速度，是绝不可能的事。于是有人说，哲学上的决定论的科学证据已经被打破了，另外一些人则认为测不准原理不过是我们的测量系统无力处理这类实体的表现而已。

体质人类学

正如对于化石记录的不断的研究增强了我们对于动植物进化的一般学说的确切性的信念一样，二十世纪早期的古生物学上的发现，也证实了赖尔、达尔文、赫胥黎诸人关于人在自然界的地位的一般结论的真实性。此外，关于猿人及各类人种的起源的许多新证据也出现了。我们渐渐明白猿与人可能早在第三纪的新生代中期就互相分化出来。同时他们的血液相似的新资料则提供了生理证据，说明他们目前有着密切的亲缘联系。 360

1901年，安德鲁斯(C. W. Andrews)在埃及法尤姆(Fayum)发现的化石也许可以代表现今哺乳动物的祖先，他还预言早期类型

① J. S. Haldane, *The Sciences and Philosophy*, London, 1929.

的类人猿也可以在那里发现。这个预言后来在1911年为施洛塞尔(Schlosser)证实。在喜马拉雅山麓,皮耳格林(Pilgrim)寻得猿化石,其结构的特点,说明它们是人科的祖先。1912年,道森(Dawson)与伍德沃德(Woodward)在英国苏塞克斯郡(Sussex)的辟尔唐(Piltdown)地方发现类人的遗骸,埋藏在新生代第四纪岩石之中,且有粗笨的火石工具。(见书末编者注)

1856年,在德国尼安德塔(Neanderthal)山谷中第一次发现了尼安德塔人的骸骨。以后在其他地方又有同样的发现,因而大大增进了我们对尼安德塔人的了解。这些化石说明尼安德塔人头大而扁平,眉峰凸出,面孔粗糙,脑虽大但前部却不完全。尼安德塔人所代表的种类的年代当在包括现有一切种族的所谓智人以前,而且更为凶猛。

尼安德塔人以后,在欧洲有身材高大,头颅椭长的克罗马努(Cro-Magnon)人,实在是智人的一种。这种人的火石工具比较完善,其洞穴壁上的图画,颇有艺术意味。其他同时或继起的人种,和克罗马努人不同,分别命名为索鲁特里安(Solutrian)人,与马格德林尼安(Magdalenian)人等。这以后出现新石器时代的各族人民。他们在游荡中,把埃及和美索不达米亚的伟大文明传播到西欧。

二十世纪初,英法两国的人都普遍地相信相似的文化可以在世界各种族里独立发生,这信念反使人对于有启发性的相似之点熟视无睹。另一方面,有一个重要的德国的学派,为拉策尔(Ratzel)1886年所创立,其后又有施米特(Schmidt,1910年)与格雷布纳(Graebner,1911年)的研究加以支持。这个学派认为相似的艺术文化起源于各民族的混合。里弗斯(W. H. R. Rivers)对太平洋岛屿民族的各种关系、社会组织和语言,进行了足资楷模的研究,也得

361

到相同的见解。里弗斯的早死是人类学上一大损失。他在1911年促请人们注意德国人的研究成果①。这一理论后来也为研究他种艺术的人所采用。斯密斯(Elliot Smith)在研究以香料保存尸体的技术时,尤其是这样。事实上,到处都有建立独石碑柱和其他石结构的风俗,它们的方位与太阳和星星既有关系,而且又和埃及的模型相似,可见即使种族不一定同出一源,文化也是同出一源的。

社会人类学

二十世纪内,如果说体质人类学大体上遵循达尔文与赫胥黎所奠定的路线发展的话,那末社会人类学就开辟了新的途径。这有几个原因:第一,象里弗斯那样的人久居于原始民族中,对于原始民族的心理有了更亲切的认识;第二,哈里森(J. E. Harrison)与康福德(F. M. Cornford)等人对希腊宗教进行了研究;第三,弗雷泽、里弗斯、马林诺夫斯基等人类学家搜集了遍及全世界的大量资料。里弗斯的工作所以重要,不仅是因为他搜集了不少关于原始生活的事实,而且因为他引起了一场方法上的革命。他发现以前探险家用来发问的概括性的话语,完全不是原始人所能了解的。例如问某人是否可以或为什么可以娶他的亡妻的妹妹,这是无用的话。你得先问:"你能娶那女人么?"然后再问:"你和她与她和你的关系怎样?"一般性的规则必须由个别的例子缓慢地综合而成。根据他在大洋洲的研究,里弗斯断言有一种敬畏和神秘的模糊感觉,一般叫做"马那"(mana),是巫术与宗教的来源,比泰罗所说的精灵崇拜更为原始。

经过长期研究野蛮地区至今仍然存在的原始形式的宗教,人

---

① *Presidential Address, Section H, British Association*, 1911.

们的观点完全改变了①。过去，不论是信徒还是怀疑者，都以为宗教是一组教义，如果是他们所信仰的，便叫做神学，如果是其他民族的宗教，则叫做神话。就是在人们把仪式考虑在内的时候，人们也认为仪式只不过是公开表示已经规定和固定下来的信仰的一种形式。而从一个观点来看构成宗教的本质的"内在精神祈祷"却大半受到忽视，或者与教义混为一谈。不但如此，宗教信条，还形成一套完备而不可改异的教义，一劳永逸地照示世人，由一部神圣的经典和一个神圣的教会维护。人们的义务只是接受信条和遵循教规而已。

362

但哈里森女士说②：

宗教总是包含两个因素：第一，理论的因素，即人对于不可见者的看法——他的神学或神话。第二，人对于不可见者的行为——他的宗教仪式。这两个因素很少完全分离，它们是以各种不同的比例混合起来的。上一世纪的人主要是从理论角度把宗教看做是教义。例如希腊宗教，在多数有教育的人看来，就是希腊神话。但一加粗略的考察，便知希腊人与罗马人都没有任何信条与教条，没有任何硬性的信仰条目。只有在希腊的祭仪③里我们才能找到所谓"忏悔式"，可是并不是表白信仰，而是表白自己所举行的仪式。我们研究原始人的宗教时，很快就看到模糊的信仰虽多，确定的信条却几乎没有。仪式占有优势而且是强制性的。

我们是由于研究野蛮人才注意到仪式压倒信条和先于信条的现象，但这种现象马上就同现代心理学不谋而合。一般人的信念以为我思故我行；而现代科学的心理学则以为我行（或者不如说我对外界刺激有所反应）故我思。因此发生一串的循环现象：行动与思想又成为新的行动与新的思想的刺激。

---

① 例如，看 *Darwin and Modern Science*, Cambridge, 1909；及 Jane Ellen Harrison, *The Study of Religions*, p.494。

② "Darwin and Modern Science"，上引书 p. 498。

③ 要知详细情况，可参考：J. E. Harrison, *Prolegomena to the Study of Greek Religions*, Cambridge, 1903, p. 155。

真正"盲目的异教徒"并不向木石叩头，而只忙于施行巫术。他并不向神祈求晴天和阴雨；他跳一次"太阳舞"，或学作蛙鸣，希望大雨来临，因为他已经懂得把大雨和蛙鸣联系起来。在许多图腾信仰中，人认为自己与一种动物有密切的联系，而把它看作是神圣的。有时这种动物被看作"禁物"，而不可接触；有时野蛮人食了它的肉，就觉有勇气与有力量。有节奏的舞蹈，不论是否借助于酒力都可以引人达到狂欢的境界，使意志获得自由，使人觉得自己有一种超越平常限度的力量。野蛮人不知祷告，但有愿望。

巫术对宗教的关系和对科学的关系如何，仍然是一个争论的问题。巫术企图迫使外界事物服从人的意志。原始形态的宗教想依靠上帝和多神的帮助来影响外界的事物。科学比巫术有更清晰的洞察力，它谦卑地学习自然的法则，通过服从这些法则而取得控制自然的能力，这正是巫术误认为自己已经获得了的能力。无论这三者的实在关系为何，巫术好象终归是宗教与科学的摇篮。 363

野蛮人由于希望实现自己的意志，就创立了一种仪式，然后就利用这种仪式与他们的原始的观念形成一种神话。他们不能分别主观与客观；凡是他所经验之事：感觉、思想、梦幻或甚至记忆，他都以为是实在的、客观的，虽然实在的程度或许有差别。

斯宾塞说野蛮人因为梦见死了的父亲，想加以解释，就创造了一个灵魂世界。可是原始人并没有斯宾塞这种复杂的推理能力。梦境对于他是实在的，也许不象他现在还活着的母亲那样实在，但却不是假的。他并不寻求解释，而把梦境当做实在加以接受，他的父亲在某种意义上还活着。他感觉自身有一种生命力，他虽然摸不到它，它却是实在的，因而他已死的父亲也必定有这种生命力。父亲死后，这种生命力不再寄寓在他的肉体内，但它又在梦中回来：这是一种气息、形象、幻影或鬼魂。这是生命本质与可以分离

的幽灵的混合体①。

泰罗指出野蛮人力求把常见之物分类，以达到类的概念，因而他们深信同种之物属于一家，有一个部落守护神保护它们，并有一个名称，以某种神秘的方式，包含它们的共同的本质②。在野蛮人看来，数也是超感觉世界的一部分，而且本质上是神秘的，也是宗教的。"我们能接触并看见七个苹果，但七自身是一奇异的东西，由此物移至彼物，赋予物以七的意义，因此，它应是上界的仙人。"

仪式、巫术与有节奏的舞蹈等神秘经验，就和这种梦、鬼、名、影、数等混乱的超感觉境界揉合在一起。这些因素相互作用，野蛮人或许就凭借这种交织在一起的感觉与行动形成一种神的概念。

弗雷泽的主要著作《金枝集》是最惊人的社会人类学资料汇编。这部书初版二卷，刊行于1890年，1900年再版，扩大成十二卷。364 在这部巨著中，弗雷泽描述了原始的风俗、仪式与信仰，其例证取自各种价值不等的来源，如石刻铭文，古代与中世纪的史籍，现代旅行家、传教士、人种学者与人类学家的记载。有些权威学者以为巫术是宗教与科学的共同来源，弗雷泽则认为它们是次第产生的。当巫术企图直接控制自然失败以后，人们就用崇拜与祈祷的方式，祈求神给与这种能力；在人们看到这样做也没有效力并且认识天律不变时，他们就踏入科学之门。

另一方面，马林诺夫斯基③认为原始人把可以凭借经验性观察处理、可以因袭相传的简单活动，同需要祈诸巫术、仪式和神话的、他们所无法直接控制的无法预料的事件，截然地区别开来。马

① Körperseele or Psyche. 看 Wundt, *Völkerpsychologie*, Leipzig, vol. II, 1900, p. 1.; Jane Harrison, 上引书 p. 501。

② *Primitive Culture*, vol. I, 4th ed. London, 1903, p. 245.

③ *Foundations of Faith and Morals*, Oxford, 1936.

林诺夫斯基说：宗教的起源应当到人对于死亡的反应中去寻找，它的基本内容在于信仰一个伦理的神灵，在于希望复活。科学是从人们在各种生活技术和手艺中获得的逐渐增多的经验中产生出来的。但也有人认为原始人的心灵不能明确辨别自然与超自然的界限。人感觉自己有控制自己的思想的能力，野蛮人把这种能力扩大，以为自己也能控制外物。在他们梦见亡故的父母时，梦境中出现的朦胧的影子就上升成为朦胧的神。这些神想必也能控制万物，比较他自己的能力还大。在酒与舞蹈的刺激下，他感觉自己的能力扩大了，他的灵魂受了这些神的感召。还有受到更大神感的人：他们的君王与祭司，简直就是神了。

交感巫术企图用仿效自然现象或其效果的方式来复制自然现象，演变下去，就成为原始宗教的许多象征性的仪式。蔓延最广的仪式莫过于每年季节循环的戏剧：播种、生长、收获时节的毁灭、新春时节的万物复苏——这些都用无数的方式加以象征，流行于许多时代与许多地方。人们最初是举行仪式，诵念，符咒，以使雨落、日出、生物繁殖。后来，人们又感觉有某种更深刻而神秘的原因在幕后起作用，而且以为生长与凋谢必是神的力量涨落的影响。

这些神与祀神的仪式特别流行于地中海东面各地，神的名称有沃西里斯(Osiris)，塔穆兹(Tammuz)，阿多尼斯 (Adonis) 与阿提斯 (Attis)①。巴比伦与叙利亚人的塔穆兹变成了希腊人的阿多尼斯。塔穆兹是伊什塔尔(Ishtar)的丈夫，她是司丰产的女神。阿多尼斯是阿斯塔尔特(Astarte)或阿弗罗代特(Aphrodite)的爱

365

① 沃西里斯：古埃及人的死者的保护神，塔穆兹：巴比伦人的农神；阿多尼斯：腓尼基人阿斯塔尔特和希腊神话里的美男子，司花之神；阿提斯：古小亚细亚人司植物生长之神，下文的伊什塔尔和阿斯塔尔特：腓尼基人的星神和保护地方的女神；阿弗罗代特：希腊的爱神；西伯耳：大地的女神。弗里季亚：小亚细亚古国。——译注

人。他们的结合对于大地丰产是必要的，因而有许多仪式和神秘剧在他们的庙中表演，庆祝他们的结合。阿提斯是众神之母西伯耳(Cybele)的儿子，这位女神从前住在弗里季亚(Phrigia)国，于公元204年前被带到罗马。举例来说，从在叙利亚的喇·香拉(Ras Shamra)地方发掘出来的古物中，就可以看出有这样一种祭仪。巴勒斯坦好象也受到这种影响[①]。可是《创世记》的作者认为：既然上帝在天上放虹[②]，这样的仪式是不需要的："地还存留的时候，稼穑、寒暑、冬夏、昼夜就永不停息了"[③]。

这些巫术祭仪的祀神仪节大同而小异。每年都要哀悼神的死去，杀一个人或一个牲畜，以为象征，并于次日或另一季节内欢呼其复活。在有些祭仪里，祭礼在冬至日举行，以庆祝新年、太阳或代表太阳的为处女所生的神的诞生。

普卢塔克与希罗多德关于埃及的神爱西斯(Isis)与沃西里斯的故事更加复杂，但其根本观念与象征意义则完全相同。在希腊化时代主要的埃及神有爱西斯，安努比斯(Anubis)(导引灵魂至永生界之神)与塞拉皮斯(Serapis)[④]，这是"埃及王托勒密一世有意识创造的，是现代人造成功的唯一的神"。塞拉皮斯就是沃西里斯，加上希腊的色彩，目的在于把希腊人与埃及人联合于共同崇拜之中。埃及人不要他，于是他就成为亚历山大里亚的希腊神；他和他的妻子在地上的化身便是托勒密皇帝和皇后[⑤]。

---

① *The Religious Background of the Bible*, J. N. Schofield, London, 1944.

② "我把虹放在云彩中，这就可作我与地立约的记号了。"见《旧约》《创世记》9章13节。——译注

③ 见《旧约》《创世记》8章22节。——译注

④ 爱西斯：古埃及人的司医药、婚娶、种植等的女神，沃西里斯神的妻子；安努比斯：古埃及的狗头人身之神；塞拉皮斯：古埃及托勒密朝代信奉的神牛与沃西里斯混合的大神。——译注

⑤ W.W.Tarn, *Hellenistic Civilization*, London, 1927, p.294.

崇奉古波斯米思拉(Mithras)神① 的祭仪宗教，一方面与地中海边信奉西伯耳神的宗教极其相似，另一方面又与基督教相似；早期基督教神父很可能认为这种相似是妖魔以假乱真的诡计。当时，这个信奉米思拉的宗教是基督教的劲敌，它有隆重的仪式，又有道德的纯洁与不朽的希望。事实上，有一个时期，这两种宗教在争夺罗马世界的斗争中，似乎就旗鼓相当，不分上下。

基督诞生的前后几个世纪之内，对于古典神话的信仰已经衰微，帮助米思拉神教填补了这种衰微所留下的空隙的是同米思拉神教相似的其他祭仪宗教。这些宗教都企图通过入教与神交的仪式而与神合为一体。这种入教和通神的仪式，显然是由更原始的祭仪而来。弗雷泽爵士详细讨论了无数神交仪式的例子以及这种神交仪式与各地原始人民的图腾主义和崇拜自然的祭仪之间的联系。然后，他写了下面一段： 366

> 我们从这里很容易了解野蛮人为什么喜欢吃他们奉为神灵的人或兽的肉体。因为吃了神的身体，便可得到神的属性与能力。如为谷神，谷便是他的身体；如为酒神，葡萄汁便是他的血；所以信徒吃了面包与饮了酒，便取得神的真实肉体与血液。因此在祀酒神〔如第沃力索斯(Dionysos)〕的仪式里饮酒不是放纵行为而是严肃的圣礼②。

信仰虽有变迁，古代的仪式依然存在，而且升华为高级宗教的圣礼。以后就出现了罗马哲学家或新教改革者的批判精神。西塞罗说：

> 当我们称谷为谷神，称酒为酒神的时候，我们只是使用一种譬喻手法，我

① 米思拉：古波斯沃教的一位司命神，后与希腊的太阳神混合为一。——译注

② *The Golden Bough*, 3rd ed. Part Ⅴ; *Spirits of the Corn and Wild*, vol. Ⅰ, p.167及以后几页。较简单的叙述有：*Primitive Sacramentalism*, by H.J.D.Astley, Modern Churchman, vol. ⅩⅥ, 1926, p. 294。

们想象到会有什么人愚蠢得竟然相信他所吃的东西是神吗？

这种批评精神的谬误在于它以为人们的宗教信仰与其仪节只靠理智便可以成立，而不知人们的本能是百万年来信奉巫术和崇拜精灵的祖先的遗传。罗马教会在实践中，从来没有犯过这个错误，虽然在理论方面，它却把自己的哲学——中世纪后半期与十九世纪的——建立在阿奎那的唯理论的基础之上。

除公元第一世纪的正式的宗教与哲学之外，暗地里还普遍流行着这些更原始的异教仪节与信仰，而且其中还掺和着在这些信仰中和《旧约》所载的希伯来人的某些祭仪中都可以找到的那种牺牲观念。要想了解基督教发展初期一般人的心理情况，不应忽略这种原始的与东方的观念的暗流。

367　弗雷泽对于基督教里所混杂的东方因素，有如下的叙述[①]：

被误认为是神灵附体的失神的疯癫，肢体的残毁重生的理论与流血赎罪，都起源于野蛮时代，自然能够吸引野性本能尚强的民族。……把粗暴的野蛮性和精神希冀奇妙地结合起来的崇奉大母（即地神）的宗教，只是许许多多类似的东方信仰的一种。这些信仰后来在异教盛行的时代，传播于罗马帝国，并把异教的生活理想贯注在欧洲民族心中渐渐摧毁了整个古代文明的大厦。希腊与罗马社会建立在个人服从集体、公民服从政府的概念上；国家的安全是个人行为的最高目的，远在个人安全之上，无论在现世或来世都是这样。……这一切都因为东方宗教的传播发生改变，因为这些宗教倡导灵魂与神交通与永远得救是生活的唯一目的，在这种目的的相形之下，国家的繁荣，甚至国家的存在，就变得无关紧要了……这种见解深入人心历时一千多年。直到中世纪末，罗马的法律、亚里斯多德的哲学与古代文艺复兴起来，欧洲才恢复其固有的生活与行为的理想，对于世界才有了更健全更合人性的见解。文明进展的长期停顿才告终止。东方侵略的潮流终被阻止。

① 上引书356及其以后各页。

持相反见解的人，也许可以满有理由指出这节论证欠圆满。如果神秘主义者的基本假设是正确的，则人的灵魂与神的交通实较政府与民族更为重要。不管人们在这两种相反的生活理想之间作怎样的选择，象弗雷泽这样一位对这门知识有很大贡献的专家的意见一定是值得注意与尊重的。

现代历史研究与人类学研究对基督教的起源与意义问题所产生的影响是一个更深刻而更重要的问题。这个问题至今仍在讨论之中。在这一讨论里，因袭的与先入为主的成见往往这样或那样地影响理性的运用。显然传统的基督教义有许多地方与以前或同时代的宗教的类似信仰相似，而且基督教的仪式也有许多地方与异教的祭仪相当。有人以为这些相似之点，说明基督教也应列入第一世纪祭仪宗教之内。又有人指出，近来的人类学的推论或许言过其实。祭仪宗教与早期更原始的祭礼间的关系现在肯定已更加明了，但是祭仪宗教的存在与性质，早为史学家与神学家所熟知。形式的相似并不一定表示来源与意义是相同的。 368

我们对于基督教，无论采取正统的见解与否，都必须承认现代人类学一方面帮助我们更好地了解到心理学与基本宗教（对于不可见的神力的直接的领悟）的联系，另一方面也帮助我们更好地了解到原始信仰与比较进步的神学的联系。

第十章　物理学的新时代

新物理学——阴极射线与电子——阳极射线或原子射线——放射性——X射线与原子序数——量子论——原子结构——玻尔学说——量子力学——相对论——相对论与万有引力——物理学近况——核型原子——化学

新物理学[①]

十九世纪最后十年以前，物理科学一直循着第六章所叙述的发展路线前进。当时以为物理学的主要框架已经一劳永逸地构成了。以后需要做的一点点工作就只是把物理常数的测量弄得再准确一些（小数点后面的数字再推进一位），并把看起来往往很快就能解决的光以太结构的研究工作再推进一步。二十世纪的前三十年，这一牛顿的体系渗入新的物理学学说中。在解释实验的结果时，起初这一体系唯一无二的学说，后来便和其他学说并用。慢慢地才发现还需要一些全新的概念。

新物理学可以说是从1895年慕尼黑伦琴（Wilhelm Konrad Röntgen，1845—1923年）教授发现X射线时开始的。在这以前，已经有很多人对气体中的放电进行实验，特别是法拉第、希托夫、盖斯勒（Geissler）、戈尔茨坦（Goldstein）、克鲁克斯等人和后来的J.

---

① 一般叙述可参看作者所著：*The Recent Development of Physical Science* 一书前后数版（1904—1924）。

J.汤姆生(1856—1940年)，即剑桥大学三一学院的主任教授约瑟夫·汤姆生爵士。但是只有持具远见的人才觉得这些实验重要，而最先引起物理学家注意这些实验的，便是伦琴的工作。

伟大发现之出于偶然，常较一般人所想象的为少。不过伦琴找到X射线的踪迹却是偶然的，这件事的确迟早要发生，但仍然是偶然的。伦琴发现紧密封存的底片虽丝毫不暴露在光线下，如果放在高度真空的放电管附近，仍然会变灰黑而至毁坏。这说明放电管内发出某种能穿透底片封套的光线。

伦琴发现，一个涂有磷光质，如铂氰酸钾的幕屏放在这种放电管附近时，即发亮光；金属的厚片放在管与磷光屏中间时，即投射阴影，而轻的物质，如铝片或木片，平时不透光，在这种射线内投射的阴影却几乎看不见。所吸收的射线的数量似乎大致和吸收体的厚度与密度成正比。真空管内的气体愈少，则射线的贯穿性愈高。具有相当"硬度"的射线，可使肌肉内的骨骼在磷光片或照片上投下阴影。因此，在有了适当的技术之后，这一事实对于外科医术，就具有无上的价值。　370

从纯粹科学的观点来看，继X射线之后，J.J.汤姆生等人又有一个更重要的发现①：当这些射线通过气体时，它们就使气体变成导电体。在这个研究范围内，液体电解质的离子说已经指明液体中的导电现象有类似的机制。液体电解质的离子说是由法拉第创立的，后来主要由科尔劳施、范特-霍夫和阿累利乌斯②加以发展。现在这个气体的离子说证明是更加成功。

在X射线通过气体以后，再加以切断，气体的导电性仍然可以

---

① 剑桥大学哲学会，见 *University Reporter*，1896年2月4日。

② 见第六章，247—251页。

维持一会儿，然后就渐渐消失了。汤姆生与卢瑟福又发现：当由于X射线射入而变成导体的气体，通过玻璃绵或两个电性相反的带电板之间时，其导电性就消失了。这说明气体之所以能导电是由于含有荷电的质点，这些荷电的质点一与玻璃绵或带电板之一相接触，就放出电荷。卢瑟福又发现：在导电的气体内，电流的强弱起初和电动势成正比；但如果电动势继续增高，则电流的增加渐渐变慢，最后达到一个最大的饱和数值。从这些实验可以明白，虽然离子是液体电解质中平常而永久的构造的一部分，但在气体中，只有X射线或其他电离剂施作用时才会产生离子。如果听其自然，离子就会渐渐重新结合而至消失。玻璃绵的表面很大，可以吸收离子或帮助离子重新结合。如果外加的电动势相当高，便可以使离371 子一产生出来就马上跑到电极上去，因而电动势再增高，电流也不能再加大。

伦琴的发现还开创了另一研究领域——放射现象的领域。X射线既然能对磷光质发生显著的效应，人们自然要问：这种磷光质或他种天然物体，是否也可以产生类似X射线那样的射线呢？在这一研究中首先获得成功的是亨利·柏克勒耳 (Henri Becquerel)。他在1896年2月发现，钾铀的硫酸复盐发出的射线，可以穿透黑纸或其他不透光的物质，对照相底版发生影响，后来他发现铀本身与其所有化合物都有同样的作用。

次年，1897年，是以超原子微粒(即远比任何元素的原子更轻的质点)伟大发现著称的一年。物理学的新时代从此开始了。

阴极射线与电子[1]

当一只装有铂电极的玻璃管，经抽气机逐渐抽空时，管内的放电在性质上就经历多次变化，最后就在玻璃管壁上或管内其他固体上产生磷光效应。然后，这些物体就成为X射线的来源。1869年，希托夫证明放在阴极与玻璃壁间的障碍物，可以在玻璃壁上投射阴影。1876年，戈尔茨坦证实希托夫的结果，而创造“阴极射线”一词，他以为这种射线是和普通光线同一性质的以太波。另一方面，伐利(Varley)和克鲁克斯提出证据——例如，这些射线在磁场中发生偏转——说明它们是由阴极射出的荷电质点，因撞击而产生磷光。1890年，舒斯特(Schuster)观察了它们在磁场中的偏转度，测量了这些假想质点的电荷与其质量的比率，而估计这一比率为液体中氢离子的比值的500倍左右[2]。他假定这些质点的大小与原子一样，推得气体离子的电荷远较液体离子为大。1892年赫兹发现阴极射线能贯穿薄的金片或铝片。这一发现，似乎与组成射线的质点为普通原子流或分子流的想法颇难调和。1895年，贝兰证明：这些质点偏转到绝缘的导电体上时，就把它们所有的负电荷给与导电体。在1897年，质点的速度及其电荷 e 与质量 m 的比值，为几个物理学家测定之后[3]，它们的性质的问题就得到了解决。一 372 月间，维歇特(Wiechert)证明几种射线的速度约为光速的十分之

---

① J. J. Thomson, *Conduction of Electricity through Gases*, Cambridge, 1903 and 1906. J. S. E. Townsend, *Electricity in Gases*, Oxford, 1915.

② 一个运动的带电质点相当于一股电流，因而可为磁铁所偏转（见218页）。如果加上强度为H的磁场，则质点所受的机械力为 Hev。这个力的作用方向与磁场和质点运动的方向在每一瞬刻都成直角。这正是产生圆运动所需要的条件（见152页），因而这 Hev 即表向心力 mv^2/r，故 $r=\frac{mv}{eH}$。在实验中，质点只走圆圈的一段，其离开直线行径的偏转为 $S_m=l^2/2r=l^2He/2vm$。

③ 要知这些研究的历史，可看 Townsend 所著的书453及以后数页。

一；而其 e/m 则等于电解液中氢离子的比值的2000至4000倍。他按电容器的振荡周期测量速度，而按磁场中的偏转测量 e/m。七月间考夫曼(Kaufmann)发表他的实验报告：他从电极间的电位差与磁场中的偏转，求得质点的能量。同时 J. J. 汤姆生将这些射线导入绝缘的圆柱，测量其电荷，并观测其给予温差电偶的热量，而求得其动能。最后他于十月间发现在高度真空下，阴极射线不但能为磁场所偏转，也能为电场所偏转，他因而测量了这两种偏转度[①]。

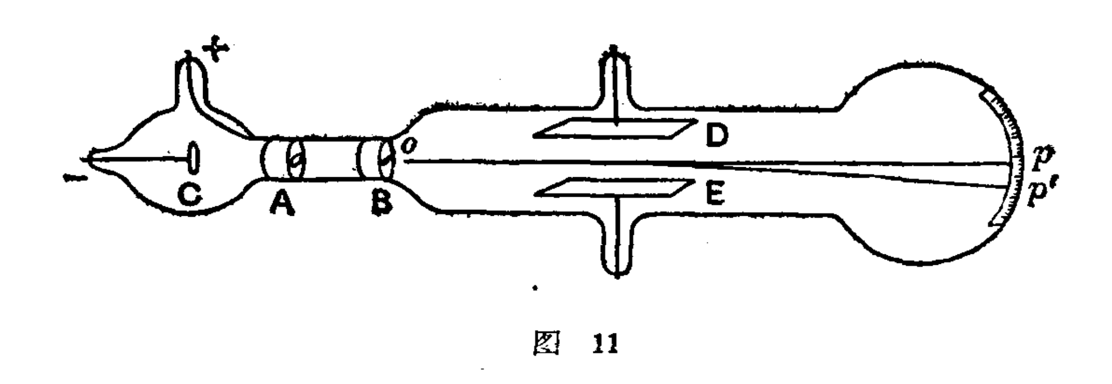


图　11

图11表明汤姆生用来进行上述有历史意义的实验的仪器。一支高度抽空的玻璃管装着两个金属电极：阴极 C 和开有小缝的阳极 A。从 C 发出的阴极射线的一部分，穿过小缝后，再为第二个小缝 B 所削细。这样得到的小束射线，经过绝缘片 D 与 E 之间，射在玻璃管他端的荧光幕或照相底片上。如将绝缘片连于高电压电池的两极，则其间产生电场。整个仪器放在一强力的电磁体两极中间，使得射线也受到磁场的作用。

假定阴极射线是荷有负电的质点的急流，由简单计算可以看出，射线的电场偏转度，亦如其磁场偏转度，是依质点的速度 v 及

① *Phil. Mag.* vol. XLIV, 1897, p. 293.

其电荷与质量之比 e/m 而改变的①。所以通过测量电场与磁场的 373 偏转度，便可求得 v 与 e/m 的数值。

汤姆生求得质点的速度在光速的十分之一左右，而略有变化，但其 e/m 则不管气体的压力与性质及电极的性质如何，均无改变。在液体电解质中，以氢离子的 e/m 为最大，约为10,000或 $10^4$②。汤姆生求得气体离子的 e/m 为 7.7×10^6，换言之，即为液体中氢离子的 e/m 的770倍，而考夫曼在1897年12月所求得的更精密的数值为 1.77×10^7。这些结果也许表明，在气体内的阴极射线的质点中，不是象舒斯特所预料的那样，电荷比在氢原子中大得多，就是质量小得多。汤姆生暂时假定这些质点比原子小。他以牛顿所常用的微粒那个名词去称呼它们，并且说它们是我们寻求多年的各种元素的共同成分。但是当时还没有明确的证据可以证明这些微粒所负的电荷，不比电解质中单价离子所负的更大，因而也无法计算其质量。所以电荷的疑案就成了急待研究的下一个问题了。

1898和1899年，汤姆生测量了X射线在气体中所造成的离子的电荷。他利用威尔逊(C. T. R. Wilson)在1897年所发现的方法，即离子和尘埃一样，可以成为潮湿空气中蒸汽凝成雾滴的核心。从这些雾滴在空气阻力下降落的速度，可以计算出雾滴的大小。从凝结的水的体积，可以求得雾滴的数目，再从已知电动势所产生的电流，可以求得电荷的总量。不久以后，汤森(Townsend)测量了离子渗入气体的扩散速度，而由此计算出离子的电荷。到了1899

① 设一强度为 f 的均强电场，垂直地施于质量为 m，电荷为 e 的质点的运动方向上，则质点所得的加速度 α 为 fe/m，而在电场方向的位移为 $S_e=\frac{1}{2}\alpha t^2=\frac{1}{2}\frac{fe}{m}t^2$。在时间 t 内该质点以其原有的速度 v 进行的距离 $l=vt$。因此 $t^2=l^2/v^2$，而在与垂直于原来运动方向上的位移为 $S_e=fel^2/2mv^2$。

② 见第六章，217页。

年，汤姆生用云室法与磁场偏转法，测量了相同一种质点(以紫外光射在锌片上所产生的质点)的电荷 e 和 e/m。所有测量结果都证明：在实验误差限度以内，气体质点的电荷与液体单价离子的电荷相符合。事实上，在米利根 (Millikan) 新近的实验结果中，这两个数字相差不及四千分之一。

374

由此可见，并非微粒的电荷比液体中氢离子的电荷更大，而是其质量更小。这些微粒是原子的一部分，无论元素的性质如何，均为其原子共有的成分。从汤姆生最初的实验来看，每一微粒的质量似约为氢原子的 1/770。但从上述考夫曼测量的 e/m，已可求得较精密的结果。自此以后关于微粒的电荷与其 e/m，接着又有新的测定，最著名的是米利根的测定。他在1910年改进威尔逊的云室法，又在1911年测量了小油滴在被电离的空气中降落的速度。当一油滴捉到一离子时，其速度便忽然改变。这样求得离子的电荷为 4.775×10^{-10} 静电单位。这说明这些微粒或电子的质量，为氢原子的 1/1830①。从气体分子运动论可求得一个氢原子的质量约为 1.66×10^{-24} 克，所以一个电子的质量约为 9×10^{-28} 克。

这个伟大的发现终于解决了一个古希腊留下的问题：即不同的物质是否有共同的基础的问题。同时也阐明了“带电”的意义。汤姆生当时发表其个人的观点说：

我认为一个原子含有许多更小的个体；我把这些个体叫做微粒。这些微粒彼此相等；其质量等于低压下气体中阴离子的质量，约为 3×10^{-28} 克。在正常原子中，这些微粒的集团，构成一个中性的电的体系。个别的微粒，行为虽然好象阴性的离子，但聚集于中性的原子中时，其阴电效应便为某种东西所抵消。此种东西使微粒散布的空间，好象有与这些微粒电荷之和相等的阳

① R. A. Millikan, *Trans. American Electrochemical Society*, vol.XXI, 1912, p. 185. 又Townsend, 上引书 p. 244。

电似的。气体的带电现象，我认为是由于气体原子的分裂，致使微粒脱离某些原子。脱离出来的微粒，性质如阴性的离子，每个都荷有一恒量的阴电，为简便计，我们名之为单位电荷。剩余的原子的另一部分，性质如一阳性的离子，载有一单位的正电荷，还有比阴电子更大的质量。由此观之，带电现象主要是由于原子的分裂，其中一部分质量被放出，而脱离了原来的原子①。

这些新发展与前不久的一种研究，颇有关联之处。按照麦克斯韦的理论，光既然是一种电磁波系，那么光必定是由振荡的电体所发出的②。由于光谱是元素所特有的而不是元素的化合物所特有的，所以这些振荡体（或称振子）必为原子或原子的一部分。依照这种推理，洛仑兹（Lorentz）在汤姆生的发现的前几年，创立了一种物质的电学说。这个学说预料，光谱的出现当受磁场的影响，而这一预料已为塞曼（Zeeman）所证实。塞曼在1896年发现光源放在强磁场之内时，其所发钠光谱的谱线即行变宽。他后来又以更强的磁场将单一谱线分成了两条或多条。根据测量这些线条之间的距离所得的资料，按照洛仑兹的学说，可以算出振荡质点的电荷与其质量之比 e/m 的新值。如是求得此值的数量级为 10^7 电磁单位，根据更精密的测量算出，此数字为 1.77×10^7，与根据观察阴极射线和他法所得的结果甚为符合。 375

洛仑兹利用斯托尼（J. Stoney）所定的名称“电子”来称呼这些振动的带电质点，而塞曼效应的发现与测量证明，它们就是汤姆生的微粒。我们可以把它们当做是孤立的阴电单位。拉摩（Larmor）以为电子既然有电能，就必定有与质量相当的惯量。这样，洛仑兹的学说就成为物质的电子学说，而且和由汤姆生发现而来的观点

---

① *Phil. Mag.* Ser. 5, vol. LXVIII, 1899, p. 565.

② 见本书第六章243页。

完全融合在一起。只不过汤姆生是用物质去解释电，而洛仑兹却是用电来解释物质。

应该指出，当时还有一个默认的假设并没有为后来的研究所证实。这一假设认为，原子中的微粒或电子是按照牛顿的动力学运动的，在最初的时候，人们甚至把原子比做一个小型的太阳系，电子在其中的运动有如行星之绕太阳。但在1930年以前，我们明白这种行星轨道的概念，并不一定符合事实，因而应该放弃。

接着人们便发现还可以用许多别的方法获得微粒或电子：例如高温下的物质及受到紫外光作用的金属，都能发出电子。这些效应由勒纳德(Lenard)、埃尔斯特(Elster)和盖特尔(Geitel)、理查森(O. W. Richardson)、拉登堡(Ladenburg)等人加以研究，此后这种热效应在无线电报与电话所用的热离子管中就取得了重要的实用意义。

376

阳极射线或原子射线

由上所述，阴极射线是在真空管放电时，自阴极射出的。其对应的、自阳极发出的阳射线，是戈尔茨坦在1886年发现的。观察阳射线的方法是在阳极对面的阴极上穿些小孔，这样在放电时，便有发光的射线经过这些孔，人可以在阴极以外去观察它。维恩(Wien)和汤姆生在1898年先后测量了这种"极隧射线"的磁偏转与电偏转。其e/m的数值表明这种阳射线是由质量与普通原子或分子相近的阳性质点所组成的。

汤姆生在1910年和1911年把阳射线的研究推进了一步。他利用一个高度抽空的大仪器，在阴极装上一个长而细的导管，这样便得到一个很细的射线束，其位置可以在仪器内的照相底片上加以记录。妥善安排磁力与电力，使二者所生的偏转互成直角。由于磁

偏转与质点的速度成反比，而电偏转与其速度的平方成反比，如果射线中有速度不同的同类质点，则照片上将呈现抛物线形的曲线。但实际出现的曲线则视仪器中残存气体的性质而定。如气体为氢，则基本曲线所给与的 e/m 为 10^4 或 m/e 为 10^{-4}，与液体电解质中氢离子的数值相等。第二条曲线所给出的值为前者的两倍，即表明有一种氢分子，其质量二倍于负有一个单位的电荷的氢原子的质量。其他元素给出多条抛物线组成的复杂体系。每个元素的 m/e 与氢原子的 m/e 之比，汤姆生称之为“电原子量”。

汤姆生考察氖元素（原子量为20.2）时，发现两条曲线，一条表示原子量为20，另一条表示原子量为22。这说明，普通制备的氖气可能是两种化学性相同而原子量不同的元素的混合物。某些放射现象也说明有这种元素，并且可以给予解释，索迪（Soddy）把它们叫做“同位素”（希腊文 ἴσο-τόπος，即在周期表中占同一位置之意）。

汤姆生的实验由阿斯顿（Aston, 1877—1945年）加以继续和发展[①]。他用改进的仪器，求得各元素的有规律的“质谱”。这样就证实氖有同位素。氯的原子量为什么是35.46，也是化学家长久所不了解的，至此也证明氯是原子量为35与37的两种氯原子的混合物了。阿斯顿于他种元素也得到相似的结果。如果将氧的原子量定为16，则其他所有已经测验过的元素的原子量，都非常接近整数，差别最大的是氢的原子量，它不是1，而是1.008。这些原子量所以与整数有微小差别，是由于原子核中阴阳二单位体密积在一起的缘故。这个问题还要在后面详细讨论。

377

这样，阿斯顿就澄清了另一老问题。纽兰兹与门得列耶夫的

① F. W. Aston, *Isotopes*, London, 1922, 1924, 1942.

工作，证明各元素不同的性质与其原子量的陆续增加有某种关系，因而不可避免地说明原子量自身应当形成一个简单顺增的序列。普劳特关于各元素的原子量都是氢原子量的倍数的假说，至此证明接近真实。至于其中的稀微差异，在现代原子论中，既可予以解释，也饶有趣味。

放射性①

在柏克勒耳对于铀的放射性质进行了创始的观察以后，跟着便发现铀的射线亦如X射线，能使空气和他种气体产生导电性。钍的化合物也经人发现有类似的性质。1900年，居里(Curie)夫妇进行了有系统的研究，在各种元素与其化合物以及天然物中寻找这种效应。他们发现沥青铀矿与其他几种含铀的矿物，比铀元素本身更为活跃。他们采用化学方法，即按其放射性分离了沥青铀矿的成分。于是三种很活跃的物质，即镭、钋与锕的盐就由几位学者分离出来。其中最活跃的是镭，是居里夫妇与贝蒙特(Bémont)合作而发现的。沥青铀矿中镭的含量极微，许多吨的矿，经过漫长而繁重的工作，仅能分离出一克的极小分数的镭盐。

1899年，蒙特利尔(Montreal)的卢瑟福教授，即以后的剑桥大学教授卢瑟福爵士，发现铀的辐射里有两部分，一部分不能贯穿比1/50毫米更厚的铝片，另一部分则能贯穿约半毫米的铝片，然后，强度就减少一半。前者，卢瑟福叫做α射线，能产生最显著的电效应；而贯穿性较大的一部分叫β射线，能通过不漏光的遮幕，而使照相底片变质。以后又发现第三种更富贯穿性的辐射，称为

378

① E. Rutherford, *Radio-activity*, Cambridge, 1904 and 1905. J. Chadwick, *Radio-activity*, London, 1921.

γ 射线，在贯穿一厘米厚的铅片之后，还能照相，并使验电器放电。镭放射所有这三种射线比铀容易得多，与其一般活动性成比例，所以研究这些辐射，也以用镭最为便利。

贯穿性中等的 β 射线，容易为磁铁所偏转，而柏克勒耳还发现它们也为电场所偏转。柏克勒耳确凿地证明它们是射出的荷电质点。进一步的研究，证明 β 射线在一切方面都象阴极射线，虽然其速度约为光速的60至95%，但比已经试验过的任何阴极射线的速度都大，所以 β 射线就是阴性的微粒或电子。

强度足够使 β 射线产生相当大的偏转的磁场和电场，并不足以影响很容易被吸收的 α 射线。虽然在1900年前后，人们已经认为 α 射线很可能是荷阳电的质点，其质量较组成阴性 β 射线的质点的质量大，但在若干时期以后，才由实验证明它也能为磁场和电场所偏转，但其方向与 β 射线偏转的方向相反而已。卢瑟福在1906年对于 α 射线进行实验，求得其 e/m 为 5.1×10^{3}。电解液中氢离子的 e/m 为 10^{4}。因为已有证据（见后）表明，α 射线是氦的组成物，由此可知 α 质点是荷有二倍于单价离子的电荷的氦原子（原子量为4）。它们的速度约为光速的1/10。

贯穿性最强的 γ 射线，不能为磁力或电力所偏转。它们与其他两种射线不是同类的，而和X射线相似，由一种与光同性质的波所组成，其波长经康普顿（A. H. Compton）、埃利斯（C. D. Ellis）与迈特纳（Fräulein Meitner）等测量，远比光波为小。它们似乎也象某些X射线一样，含有发射体所特有的各种单色成分。

1900年，威廉·克鲁克斯爵士发现，如果以碳酸氨使铀自其溶液中沉淀，而再溶其沉淀物于过量的试剂中，则所余留的为少量不溶的渣滓。这点渣滓克鲁克斯称为铀-X，以照相法试验，异常活动，但再溶解的铀，则无照相效应。柏克勒耳也得到相似的结果； 379

他发现活动的渣滓如果搁置一年，则丧失其活动性，而不活动的铀反恢复其固有的辐射性。

1902年，卢瑟福与索迪发现钍也有相同的效应，即在为氨所沉淀时，钍的活动性，即消失其一部分。滤液蒸干，则产生放射性极强的渣滓。但经过一月，渣滓的活动性丧失，钍则恢复其原有的活动性。这种活性的渣滓，钍-X，证明是另外一种化学物质，因为它只能为氨全部分开，别种试剂虽能使钍沉淀，但不能使它与钍-X分离。因此当时断定这些X化合物（未知的化合物）当是另外的个体，不断地由母体发出，而渐渐丧失其活性。

1899年，卢瑟福发现从钍发出的辐射变异无常，尤其易为吹过放射物质表面的空气缓流所影响。他认为这种效应是由于有一种物质放射出的缘故，这种物质的性质好象一种有暂时放射性的重气体。这就是当时所谓的"射气"。这种射气必须与上述以高速度依直线进行的辐射明显分开。射气慢慢地弥散到大气里去，好象挥发性液体的蒸气一般。它的作用象是直行辐射的独立源泉，但随时间的进展，其活动性就变得衰弱起来。镭和锕发出相似的射气，但铀和钋则否。镭射气和氖与氩相似，是一种惰性气体，现在叫做氡。

放射物质所发出的射气为量极小。1904年，拉姆赛与索迪从几分克溴化镭得到一个很小的射气泡。在一般情形下，其量之微，远不足以影响抽空器内的压力；除利用其放射性侦察它之外，也不能用其他方法去侦察它。普通所得到的，是它与大量空气的混合物，只能和空气同时从一器输入他器。

380 1899年，居里夫妇发现如将一棒暴露在镭射气里，则棒自身也获得放射性质。同年，卢瑟福于钍也得着相同的结果，而且进行了详细的研究。如果将棒自盛有射气的器内取出，而塞入检验筒内，

则此棒可使筒内的气体电离。如将暴露于钍射气而得到放射性的铂丝，用硝酸洗涤，铂丝的放射性不受损失。可是如果用硫酸或盐酸洗涤，其放射性就差不多全部丧失。将酸蒸干则得含有放射性的渣滓。这些结果，表明铂丝的放射性是由于积有某种新的放射物的缘故，这种放射物与各种化学试剂有其一定的反应。这种新的放射物当是它由之形成的那种射气分裂的产物。

卢瑟福与索迪在1902年研究了钍-X放射性的衰变率，而获得重要的发现：即在每一段短时间内的变率与这段时间开始时的放射物的强度成比例。铀-X也有类似的现象①。其过程有如图12所示。这与化合物按每个分子分解为比较简单的物体时，在量上的减少遵循同一定律。但当两个或多个分子互相反应引起化学变化时，两者的定律便不相同了(见245页)。

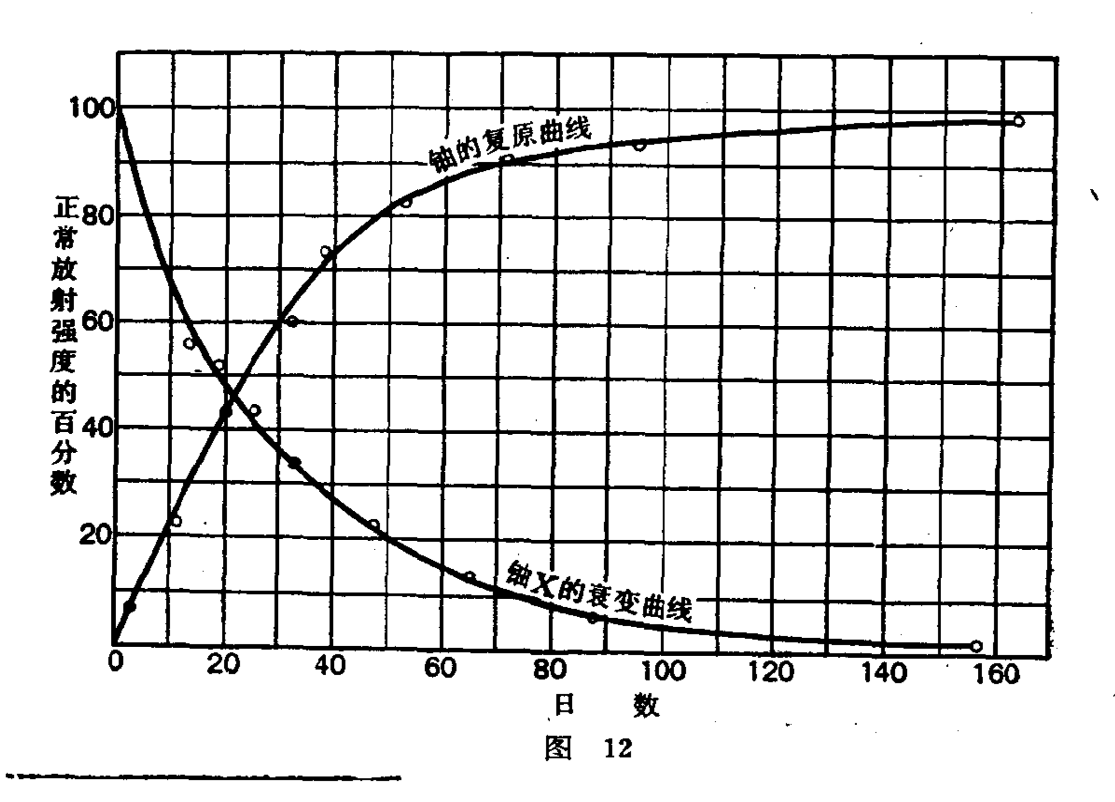


图 12

① 设 I 为放射的强度，则 $-dI/dt=\lambda I$，令原有的放射强度为 I_0，积分后便得 $ln(I/I_0)=-\lambda t$ 或 $I/I_0=e^{-\lambda t}$，这是一单分子化学反应的对数或指数定律。

1903年，居里与拉波尔德(Laborde)注意到一个奇特的事实：镭的化合物不断地发热。他们从实验的结果算出每克纯镭每小时可发热约100卡。以后的结果证明一克镭与其产物平衡时，每小时发热135卡。这种热能的发出率，不论将镭盐放在高温或液体空气的低温下，都不改变，甚至在液体氢的温度下也不至减小。

卢瑟福认为热能的发射与放射性有关。丧失了射气的镭，如以电的方法测量，其放射性的恢复与其发热本领的恢复保持同一速率，而其分离出来的射气发热量的变化，也与其放射性的变化相应。放射物的电效应主要是由于 α 射线。而其热效应也主要决定381 于 α 质点的发射。在上述的每小时135卡中，只有 5 卡来自 β 射线，6 卡来自 γ 辐射。α 与 β 射线的热效应显然得自射出质点的动能。

由于发现镭的化合物不断发热，人们进行了许多探索，力求解释这个好像永不枯竭的能量的泉源，人们的注意力也集中于放射问题本身。

需要解释的事实可以总结为以下几点：（1）什么时候有放射性即有化学变化出现，什么时候就有新体出现；（2）这种化学变化是单质点的分离，而不是化合；（3）放射性与放射元素（不论其是独立的或化合的）的质量成比例，因此分离的质点不是分子而是原子；（4）其所放出的能量是已知的最猛烈的化学反应的万千倍。

1903年，卢瑟福与索迪根据他们对于射气与其遗留的放射物的实验结果，提出一个学说来解释所有已知的事实。这个学说就是：放射性是基本原子的爆炸分裂造成的。在数百万个原子中，这里和那里忽然有一个爆裂，射出一个 α 质点，或一个 β 质点和一个 γ 射线，所遗留下来的部分就成为另一不同的原子。如果射出的382 是一个 α 质点，这个新原素的原子量将有所减少，减少的数值是一个氦原子的原子量的四个单位。

现在把最初制订的镭族的系谱列表于下(根据最近的研究，这个系谱已经有所不同)。这个系谱从铀开始，这是一个重元素，原子量为238，原子序数为92，这个数字，以后还要说明，是原子外部的电子数。镭族系谱列如下表：

	原子序数	原子量	半衰期	放射物
铀Ⅰ	92	238	4.5×10^{9}年	α
↓ 铀X_1	90	234	24.5日	β,γ
↓ 铀X_2	91	234	1.14分	β,γ
↓ 铀Ⅱ	92	234	10^{6}年	α
↓ 锾	90	230	7.6×10^{4}年	α
↓ 镭	88	226	1600年	α
↓ 镭射气	86	222	3.82日	α
↓ 镭A	84	218	3.05分	α
↓ 镭B	82	214	26.8分	β,γ
↓ 镭C	83	214	19.7分	α,β,γ
↓ 镭C′	84	214	10^{-6}秒	α
↓ 镭D	82	210	25年	β,γ
↓ 镭E	83	210	5日	β,γ
↓ 镭F（钋）	84	210	136日	α
↓ 铅	82	206	无放射性	

铀原子放射一个α质点，即一个质量为4而阳电荷为2的氦原子后，所遗下的是一个铀X_1原子，其原子量为$238-4=234$，而原子序数为$92-2=90$。铀X_1所放射的仅仅是β与γ射线。β射线的质量很小，载有一个阴电荷，所以，由铀X_1变来的所谓铀X_2，较铀X_1少一阴电荷，换言之即多一阳电荷，因此其原子序数为91，

其原子量实际没有什么变化，仍为 234。铀 X_2 也只放射 β 与 γ 射线，所以其子体铀Ⅱ的原子序数为92，而原子量仍为234。

这样照表中所示类推。在放出 α 射线时，产物的原子量减少 4 单位，其原子序数少 2 单位。如果放出的是 β 射线，则重量几无改变，而其原子序数则增加 1 单位。

383　镭族的最后已知子体为铅，其原子量经理查兹 (Richards) 与赫尼格斯密特 (Hönigschmit) 测定为206，而普通铅的原子量为207。钍族的最后产物也证明为铅，其原子量经索迪测定为208。阿斯顿还测定锕铅的原子量有正常的数值207，在铀族里还有一种具有放射性的铅，以镭D的身分出现，其原子量为210。这四种铅具有相同的化学性质，因而可以认为是同位素。

原子学说，虽然由道尔顿的化学工作确立起来，但是百余年来一直不能证明有单个原子存在；我们只能按成万成亿的数目对原子作统计式的处理。而今，利用放射性，我们已经能够探索单个 α 质点的效应了。克鲁克斯将硫化锌的荧光幕暴露在一个溴化镭小点之下，用放大镜观察到幕上的闪烁。这是最初的办法，今天已经有其他的侦察方法了。

如果我们用比激发火花所必需的强度稍弱的电场对几毫米水银柱压力下的气体施加作用，这种气体就进入非常灵敏的状态。一个 α 质点，因为速度极大会因为与气体分子碰撞，而产生成千上万的离子。这些离子，受到强电场的作用，也作急速的运动，通过碰撞而更产生其他离子。这样，一个 α 质点的总效应就成倍地增加可以使灵敏静电计的指针在标尺上有20毫米或更大的偏转。卢瑟福用一个极薄的放射物质膜，使指针的转动减少到每分钟三、四次，而数计所发射的 α 质点的数目，由此可以估算出镭的寿命。计算表明，镭的质量在1600年中减少一半。

另一方法是威尔逊发明的。当α质点射过为水蒸气所饱和的空气时，α质点所产生的离子就形成水蒸气凝结的核心。因此空气中呈现雾的路径，代表每个α质点的行程，而这些雾的路径，是可用照相方法去记录的。

卢瑟福关于放射性的研究，最后指明了物质嬗变的可能性——中世纪点金术士的梦想。不过，一直要到后来，才发现了加速这些变化的人为方法，特别是控制这些变化的人为方法。这些变化的发生完全决定于原子内部的偶然情况，而变化发生的频率也符合熟悉的概率的定律。但在1919年，卢瑟福发现用α射线进行撞击时可以引起几种元素（如氮）的原子的变化。氮的原子量为14，384 其原子为三个氦核（共重12）与两个氢核所组成。在受到α质点撞击时，氦核就被击破，氮原子组成成分中的氢核就以高速射出。在这里我们第一次看到用人力随意分裂原子（单向嬗变）的可能性，此后，这种方法又有很大的扩大。可是破坏易而建设难：这不等于说我们能够用轻而简单的原子造出重而复杂的原子。当时，有证据表明，复杂的放射性原子发放出能量来，因此，人们起初以为物质的演化历程是单向的：即由复杂原子分裂为简单原子与辐射能。但是以后的研究证明，虽然重原子分裂时发出能量，而轻原子形成时也能发出能量（见后391，422页）。

X射线与原子序数①

伦琴所发现的X射线，既不象普通光那样折射，也找不到什么有规律的反射与偏振的痕迹；但是，另一方向，X射线也不象阴极射线或α及β质点那样可以为磁场或电场所偏转。因此X射线的

① Sir William and W. L. Bragg, *X-Rays and Crystal Structure*, London, 1915, 5th ed. 1925. G. W. C. Kaye, *X-Rays*, London, 1914, 4th ed. 1923.

性质一度成为大家讨论的问题。到1912年，劳厄(Laue)方提出一项意见，认为如果X射线是波长很短的以太波，则晶体中各原子有规则的排列就可以使X射线发生衍射，正像刻有许多平行线痕的平面可以当作光栅使用来使普通光衍射一样。劳厄求出其繁复的数学理论，弗里德里希(Friedrich)与基平在实验中成功地证实了这种理论。于是人们才知道X射线是比光波更短的电磁波，而这一发现，也就开辟了一个研究晶体结构的新天地。最先探勘这个新天地的主要是威廉·布拉格(William Bragg)和他的儿子劳伦斯(Lawrence)·布拉格。他们利用岩盐(简单的正六面形晶体)，用这种衍射现象证明，与岩盐天然晶面平行的原子面间的距离为2.81×10^{-8}厘米，而用阴极射线撞击钯靶时所发生的特有的X射线的波长为0.570×10^{-8}厘米，仅合钠光波长的万分之一。这样，人们所知道的辐射的波长就包括了很大范围，从无线电通信的长波，一直到X射线和γ射线的短波，中间大约有60个倍频程(每一个倍频程是频率增加一倍的频率范围)①。其中可见光大约仅占一个倍频程。

385 威廉·布拉格爵士、莫斯利、C. G. 达尔文和凯(Kaye)的工作证明，把晶体当作光栅所产生的X射线的衍射光谱，是由一定限度内一切波长的漫射辐射混合组成的，并且包括作为"谱线"叠于光谱之上的某些更强烈的一定频率的辐射。这些具有特征的线辐射是一种同利用可见光所得的线光谱相似的衍射现象。随着这一现象的发现，牛津大学一位青年学者莫斯利在1913和1914年又有一个非常重要的发现②。他不久就死于欧战。这是物理科学界的一个莫大的损失。

---

① 60个倍频程，即60翻或2^{60}个频率倍数的范围。——译注

② *Phil. Mag.* 1913, 1914, Ser. 6, vol. XXVI, pp. 210, 1024, and vol. XXVII, p. 703.

莫斯利将阴极射线所撞击的靶，从一种金属换成另一种金属，并且以亚铁氰化钾晶体作为光栅，对每一金属靶所生的X射线的光谱加以考察，发现光谱中具有特征的谱线的振荡频率，由于改换金属，而发生简单的改变。如果以 n 代表X射线光谱中最强谱线每秒钟振荡次数，则按照周期表从一个元素到下一个元素，n 的平方根增加的数目都是相等的。如果将 $n^{\frac{1}{2}}$ 乘一常数，使这种有规则的增加成为单位，我们就得到一系列的原子序数。在这个序列中，所有已经测量过的固体元素的原子序数，都排列得很有规律，从铝的13到金的79。如果再把其他已知的元素填入，我们就发现，从氢的1到铀的92，中间只有两三个空位代表尚未发现的元素。这几个元素后来也发现了(见426页)①。

元　素　表

原子序数	元　素	符　号	原子量	原子序数	元　素	符　号	原子量
1	氢	H	1.0080	14	硅	Si	28.086
2	氦	He	4.00260	15	磷	P	30.9738
3	锂	Li	6.941	16	硫	S	32.06
4	铍	Be	9.01218	17	氯	Cl	35.453
5	硼	B	10.81	18	氩	A	39.948
6	碳	C	12.011	19	钾	K	39.102
7	氮	N	14.00067	20	钙	Ca	40.08
8	氧	O	15.994	21	钪	Sc	44.9559
9	氟	F	18.9984	22	钛	Ti	47.90
10	氖	Ne	20.179	23	钒	V	50.9414
11	钠	Na	22.9898	24	铬	Cr	51.996
12	镁	Mg	24.305	25	锰	Mn	54.9380
13	铝	Al	26.9815	26	铁	Fe	55.847

① 表内所列原子量采用1969年国际原子量，以碳12等于12为基准；表中黑体字表示后来发现的元素或后来查明的原子量。——译注

续表

原子序数	元　素	符　号	原子量	原子序数	元　素	符　号	原子量
27	钴	Co	58.9332	60	钕	Nd	144.24
28	镍	Ni	58.71	61	钷	Pm	145
29	铜	Cu	63.546	62	钐	Sm	150.4
30	锌	Zn	65.37	63	铕	Eu	151.96
31	镓	Ga	69.72	64	钆	Gd	157.25
32	锗	Ge	72.59	65	铽	Tb	158.9254
33	砷	As	74.9216	66	镝	Dy	162.50
34	硒	Se	78.96	67	钬	Ho	164.9303
35	溴	Br	79.904	68	铒	Er	167.26
36	氪	Kr	83.80	69	铥	Tm	168.9342
37	铷	Rb	85.4678	70	镱	Yb	173.04
38	锶	Sr	87.62	71	镥	Lu	174.97
39	钇	Y	88.9059	72	铪	Hf	178.49
40	锆	Zr	91.22	73	钽	Ta	180.9479
41	铌	Nb	92.9064	74	钨	W	183.85
42	钼	Mo	95.94	75	铼	Re	186.2
43	锝	Tc	98.9062	76	锇	Os	190.2
44	钌	Ru	101.07	77	铱	Ir	192.22
45	铑	Rh	102.9055	78	铂	Pt	195.09
46	钯	Pd	106.4	79	金	Au	196.9665
47	银	Ag	107.868	80	汞	Hg	200.59
48	镉	Cd	112.40	81	铊	Tl	204.37
49	铟	In	114.82	82	铅	Pb	207.2
50	锡	Sn	118.69	83	铋	Bi	208.9806
51	锑	Sb	121.75	84	钋	Po	209
52	碲	Te	127.60	85	砹	At	210
53	碘	I	126.9045	86	氡	Rn	222
54	氙	Xe	131.30	87	钫	Fr	223
55	铯	Cs	132.9055	88	镭	Ra	226.0254
56	钡	Ba	137.34	89	锕	Ac	227
57	镧	La	138.9055	90	钍	Th	232.0381
58	铈	Ce	140.12	91	镤	Pa	231.0359
59	镨	Pr	140.9077	92	铀	U	238.029

量子论①

1923年康普顿发现，当X射线为物质所散射时，波的频率变小。他用辐射的光子单元理论，来解释这个效应。这种光子单元可以和物质或电荷的电子与质子相比。电子在原子轨道中运动自然不免发放辐射能量。按照牛顿动力学，这个效应将使其轨道缩小，从而使其转动周期变短，使其发射的频率增高。在这个过程的所有阶段中，都会有原子存在，所以在一切光谱里都应该可以发现一切频率的辐射，而不是我们在许多元素的线状光谱中所看到的少数确定不变的频率的辐射。 386

就是在白炽固体的连续光谱内，能量也不是均匀分布的，而是在某些频率之间为最强。这个最强辐射的区域随温度增高，在光谱里由红端至紫端移动。这些事实很难用原子或电子辐射的旧理论去解释。事实上，数学的计算表明频率高的振子应该比频率低的振子发出更多的能量；因此，可见光比不可见的红外线应该发出较多的热，而紫外线又应该比可见光所发的更多。但是这一切都是与众所周知的事实相反。

为了解决这些困难，1901年普兰克提出了“量子论”②，主张辐射不是连续的，而象物质一样，只能按个别的单元体或原子来处理。这些单元的吸收与发射，服从在物理学与物理化学的其他分支中早已广泛地使用的概率原理。辐射出来的能量，其单元大小并不是一样的，而与其振荡频率成正比。所以只有当拥有大量可用的能量的时候，振子才能拥有和发射出高频率的紫外线；因为振子拥有许多这样的单元的机会很小，所以其发射的机会和发射的总 387

---

① 要知概要，见 J. H. Jeans, *Report on Radiation and the Quantum Theory*, 2nd ed. London, 1924。

② *Annalen der Physik*, vol. Ⅳ, 1901, p.553.

能量也都很小。反之，频率低的辐射是以小单元射出的，振子拥有许多小单元的机会较多，因而其发射的机会也可以较多；但由于其单元甚小，其总能量也甚小。只有在某段适中的频率范围内，单元的大小适中，机会也好，于是发出的单元数目可以相当大、而其总能量便得达到其最高值。

为了解释这些事实，必须假设普兰克的能量子 ε 与频率成正比，或者说与振荡周期成反比。因此我们可以写成

$$\varepsilon = h\nu = \frac{h}{T},$$

式中 ν 表频率，T 表振荡周期，而 h 是一常数。因此，普兰克常数 h 等于能量与时间的乘积 εT，这个量被称为作用量。这个守恒的作用单位，当然不随频率而改变，事实上是不随任何变化的东西而改变。这是一个真正的自然单位，和从电子中求得的物质和电的自然单位类似。

我们可以把一种专为解释某一系列事实而创立的理论加以调整，使其与那些事实相适合，但不论怎样适合，以及其形式怎样新颖，这个理论可以普遍适用的证据也许并不充分。可是，如果有另一套完全不同的现象，也可以用同一的理论去解释，尤其是在这些现象没有别的合理的解释的时候，这种证据的价值必大为增高，而我们也就开始相信，我们可以依赖这个理论去解释更多的关系。

388 普兰克的理论本来是为了解释辐射的事实而创立的。因为与传统的动力学有抵触，所以一般学者虽非怀疑，也以审慎的态度对待，亦属当然。但当其为爱因斯坦、奈恩斯特与林德曼(Lindemann)①，特别是德拜(Debye)② 用以解释比热现象之后，它广泛

① *Solvay Congress*, Brussels, 1912, pp.254, 407.

② *Annalen der Physik*, vol. XXXIX, 1912, p. 789.

应用的可能性便大为增加了。

普通的分子运动论以为，固体中单原子分子的原子热，应为气体常数的 3 倍，或约为每度 6 卡，而且此数不受温度的影响。金属都含有单原子分子，其原子热在普通温度下大致不变，等于 6 。但在低温下，则此数值便减小了。

解释这个现象首先获得成功的是爱因斯坦。他指出，如果能量只能以一定的单元或量子而被吸收，则吸收的速率必随单元的大小而改变，因而必随振荡的频率与温度而改变。德拜从量子论推出一个与实验符合的公式，特别显著的例子是碳元素，其原子热即使在普通温度下，也随温度而改变，比较金属的数值小得多。

依照量子论，光在发射与吸收的刹那间，既不是弗雷内尔的稳定以太波，也不是麦克斯韦与赫兹的连续电磁波。它好象是一团一团的微量的能量所组成的流；这些细团的能量几乎可以看做是光的原子，虽与牛顿的微粒不同类，而却与之相当。这个现象与干涉现象的协调是留待将来解决的难题。如果将一线光分为两道，而使其经过长短不同的路程，则这二路程虽相差至数千个波长，但在这两道光的最后会合处，也可见干涉的条纹。又在大望远镜里看见的星像的衍射花样，表明每个原子所发的光都充满着整个物镜。以前，人们认为这些事实足以证明光是以稳定的“波列”前进的，均匀地分布于几千个波长的距离之内，而且在横向上扩展，足以充满望远镜全部空间。

可是，如果使这颗星的光线落在钾的薄膜上，则被星光所发出的电子，每个都有与该星光相当的量子的能量。这里，光的行动不象是波，而象是能量集中的枪弹。距离增大，则一定面积上所受到的枪弹必减少，但是枪弹冲击的动量还是相等。另外一个现象即 X 射线使气体发生电离，也是光的旧理论难于解释的。如果波阵

389

面是均匀的，它对于其行程上所遇到的分子应发生相同的效应，但实际上每百万个分子当中或者只有一个被电离。有许多理由说明，这大概不是由于不稳固的分子太少。J. J. 汤姆生等人说这现象是由于X射线与光并不按宽的波阵面，而只沿局部的以太丝（法拉第的力管）前进的缘故。

接着，量子论又表示光在另一方面也不是连续的。为了解释全部事实和调和互相矛盾的观点，汤姆生设想“光是由质点组成的，每一质点为一闭合的电力圈，并伴有一列的波”。德布罗意引用新近的概念建立一个理论，将波的性质和微粒的性质联系起来，而成立一种新型的“波动力学”。一个运动的质点的性能像一个波群，其速度 v 与波长 λ 和质点的速度 v 及其质量 m 的关系为 $\lambda=h/mv$，式内 h 为普兰克常数。波的速度[①] 为 c^2/v，式内 c 为光的速度，而 v 为质点与波群的速度。于是我们不能不注意到这些现代的光的理论与牛顿想像的微粒和波的综合体很相似。

原子结构[②]

现代的原子理论开始于1897年，当时发现各元素都有阴电微粒，并且查明这些微粒即是电子。这一发现，也说明原子之所以有电的性质是由于其所含电子多于或少于电子的正常数目，而其光学性质则可以解释为电子的振荡。

勒纳德早期的观察表明，阴极射线能通过真空管内铝窗而至

① 这里指波的“相速度”。——译注

② N. Bohr, *The Theory of Spectra and Atomic Constitution*, Cambridge, 2nd ed. 1924. A. Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien* 4th ed. 1924. E. N. da C. Andrade, *The Structure of the Atoms*, London, 1923, 3rd ed. 1927. B. Russell, *The A. B. C. of Atoms*, London, 1923.

管外。根据这种观察，他在1903年以吸收的实验证明高速的阴极射线能通过数千个原子。按照当时盛行的半唯物主义者的看法，原子的大部分体积是空无所有的空间，而刚性物质大约仅为其全部的 10^{-9}(即十万万分之一)。勒纳德设想“刚性物质”是散处于原子内部空间里的若干阳电和阴电的合成体。 390

这个关于必需的阳电荷的说法不能使人满意，于是 J. J. 汤姆生又进行了更有系统的尝试来描绘原子结构。

汤姆生以为原子含有一个均匀的阳电球，若干阴性电子在这个球体内运行。他按照迈耶尔(Alfred Mayer)关于浮置磁体平衡的研究证明,如果电子的数目不超过某一限度,则这些运行的电子所成的一个环必能稳定。如果电子的数目超过这一限度，则将列成两环,如此类推以至多环。这样,电子的增多就造成了结构上呈周期的相似性，而门得列耶夫周期表中物理性质和化学性质的重复再现，或许也可得着解释了。

但是1911年盖格(Geiger)和马斯登(Marsden)关于 α 射线撞击物质时形成散射的实验，使卢瑟福对于原子的性质采取另外一种看法。α 质点的雾迹通常多是直线的，有时也有突然改变其方向的。阴电子加于 α 质点上的力势必很小,不能造成这种散射。但如果假定原子为空松结构的复杂体，含有一个凝聚为小核的阳电荷,而阴电子在原子内的空处围绕着核转动,则上述的效应便可得着解释。由于正常原子是中性的,所以，核里的阳电荷，必与所有电子的电荷之和量相等而性相反。而且由于电子的质量远远小于原子的质量，所以原子的质量几乎全部凝聚于原子核。

这一理论形成时,人们把原子看做是一个太阳系,把质重的核比拟为处于中心的太阳,而质轻的电子则类似绕核运转的行星。长冈(Nagaoka)于1904年研究了类似系统的稳定性，但首先用实验

证据去支持这个看法的是卢瑟福。勒纳德关于阴极射线的吸收的研究与后来其他的实验表明，如果将原子比拟为以电子为行星的小太阳系，则原子内的空间，照比例说也必定象太阳系里的空间那么大。在这个行星式的电子理论中，牛顿物理学给予我们的先入之见，或许引导我们走得太远了，以至超过事实所能保证的境界，但是，就阴极射线与放射质点的贯穿性而论，原子确是一个很空松的结构。

391

一个运动的电荷带着一个电磁力场。由于它有能量，因而也必有惯性。所以一个电荷具有一个类似质量的东西，也许就具有我们所谓物质的基本成分的本质。如果以电荷为中心，画一小球以代表电子，则与这球外的力场相联系的有电磁质量。J. J. 汤姆生据数学分析表明，除非电荷以极大速度运行，其电性质量为$2e^2/3r$，式内e为电荷，r为其半径。因此，如果假定所有的电磁能量都在电子之外，则根据已知的质量与电荷值，便可计算出其半径。这样算得电子的半径为10^{-13}厘米。如果假定半径r很小，换言之，如果将电荷浓聚，则其有效质量也增大(参看下面所说的新的研究)。与电子相当的阳性单元，即氢的原子核，叫做“质子”。它的质量，基本上等于原子的质量，即阴电子的质量的1800倍。因此，如果假定所有质量都是有电性的，而原子核是围绕着一个点状阳电荷的球，则原子核的半径就仅是电子半径的1/1800，或约为5×10^{-17}厘米。但须在此申明，这些估计是根据一项关于电荷分布的武断假定。现在，这些估计的价值已经很可疑了。

这些概念在当时虽有帮助，而现在已经经过修改。但是我们仍须假定氢原子是由一个单位的阳电核和其外围的一个阴电子所组成的。氦的原子核为四个质子及两个与之紧联的电子所组成。因为氢的原子量为1.008，而氦的原子量，如阿斯顿所测量的，为

4.002,所以这个复核的形成,意味着一份质量的消失:$4\times1.008-4.002=0.03$及与之相当的能量的发射。重原子的放射性分裂,放出能量。因此我们认为一切原子都储有能量,当其分裂之时,例如铀的原子分裂时,都能释放能量。但是这里的推论又表明,氦还原为氢要吸收能量——要使氦核分裂就必须做功。看来,轻的原子核形成时放出能量,而重的原子核分裂时也放出能量。这就可以 392 解释:为什么重的原子核有放射性,为什么自然界没有比铀更重的原子存在:它太不稳固了①。由于 α 射线是飞行的氦原子群,所以,氦原子大概是组成其他较重原子的一部分材料。氦原子本身虽是四个质子或氢核所组成,但其结合很牢固,即使在 α 质点的冒险生涯中,也不能使它分离。所以其他原子大概是若干阳电单位(大概是氦核,有时还带有氢质子)与若干数目较少的阴电子结成的复核所组成的。因为核内的电子的数目较少,核上呈现纯净阳电荷的数目 n,即等于莫斯利的原子序数。其余的电子存在于核心的外围。因为在中性原子内,这些外围电子所荷的阴电的总和必须与核内的纯净的阳电中和,所以 n 也代表原子外围电子的总数。

因为原子可被电离,而且依其化学价,可获得一、二、三甚至四个单位的电荷,所以可以在一个原子中加入或减去少数电子,而使其性质无根本的改变。我们可以假设这些电子位于原子的外围,别的电子在其内圈,更有些电子则成为原子核的必要的部分,而且一般是其稳固的部分。

以上说过,多数放射变化发射 α 质点。而 α 质点又是质量为 4 的氦原子,带有两单位的阳电荷。所以这种变化是原子核的崩溃变化。变化后的剩余物质量较原有的少四单位,而且变化时放

① E. Rutherford, *Proc. Roy. Soc.* A, CXXⅢ, 1929, p. 373.

出两个阴性电子，以恢复其中性状态：结果便成为一个新原子与新元素了。



哥本哈根的玻尔（N. Bohr）于1913年在曼彻斯特的卢瑟福实验室工作时，首先将普兰克的量子论应用于原子结构的问题。他的工作是以当时物理学家所公认的行星式电子论为根据的。

当时已经知道：如果我们所考虑的不是光谱中通常的谱线波长，而是其在一厘米中的波数，则氢的复杂光谱呈现若干规律。当时发现，所谓"振荡数"可以用两个项的差数表示。第一项以发现者得名，叫做里德堡常数，即每厘米109,678个波①。

393

这些关系完全是从经验得来的，最初是靠揣测，最后才求得一项符合于实验结果的算术规则。但是玻尔却根据量子论提出了解释。他指出：如果"作用量"只能以单位的整倍数被吸收，则在电子可以运行的全部轨道中，只有某些个是可能的。在最小的轨道上，作用量为一个单位或h，在第二轨道上，作用量为$2h$，如此类推。

玻尔假设氢原子的一个电子有四个可能的稳定轨道，相当于以单位数递增的作用量，如图13所表示的那样。图中的圆圈表示这四个稳定轨道，而其半径表示电子从一个轨道跳至另一个轨道

① 其他的项可以(2×2)，(3×3)，(4×4)即4，9，16等数除里德堡常数R求得。如果从R减去这些项数，则所得的振荡数为：$R-\frac{R}{4}=\frac{3R}{4}$，$R-\frac{R}{9}=\frac{8R}{9}$等。而这些数字与氢的紫外谱线的振荡数相等。

如果再开始从109,678的1/4或27,420减去其他更高的项，我们就求得另一系数目，如$\frac{R}{4}-\frac{R}{9}=\frac{5R}{36}$，$\frac{R}{4}-\frac{R}{16}=\frac{3R}{16}$等。这些数已经证明与氢的可见光的谱线（即所谓巴尔默系）相符。此外还有一系是从$\frac{R}{9}$导出的，为帕申（Paschen）在红外光谱里发现。

可能的六种跃迁。这里，玻尔抛弃了牛顿的动力学，而值得注意的是平方反比律仍可应用于假设围绕原子核运行的电子，但是这些轨道本身又表现十分新奇的关系。一个行星可以在无穷多个轨道当中的任何一个轨道上围绕太阳运动，其实际的轨道为其速度所决定。可是，玻尔假定一个电子只能在几个轨道当中的一个轨道上运动。它如果离开一个轨道必须立刻、好象不经过二轨道间的空间那样，跳到另一轨道上去。由这个假设得出的理论上的结果，与通过实验所确立的关于振荡数的经验规则相当符合①。还可从这里计算出常数R的绝对值为每厘米 109,800 波，与上面所说的最近测定的里德堡常数之值异常符合。在这一阶段，玻尔学说表现有其长远而成功的前途。

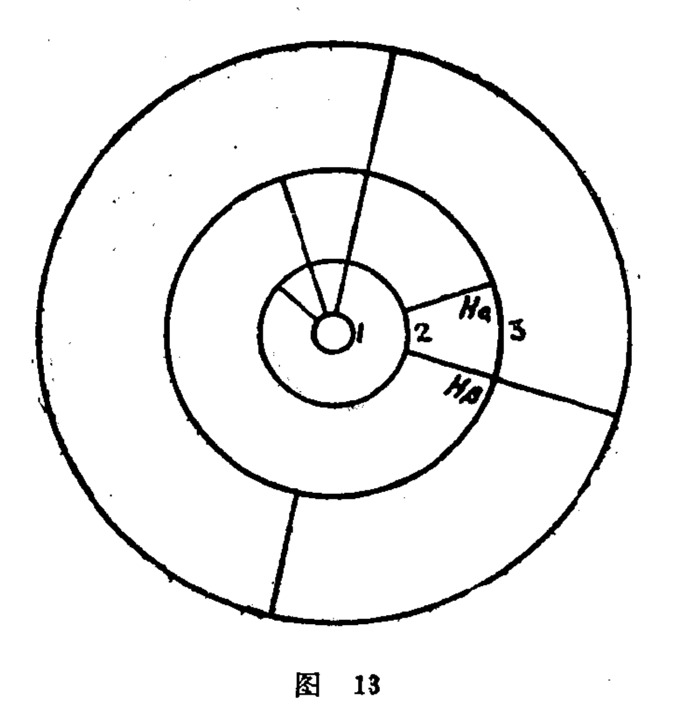


图 13

394

① 数学的计算表明电子运动的能量，在第二轨道的为第一轨道的$\frac{1}{4}$，在第三轨道的为$\frac{1}{9}$，在第四轨道的为$\frac{1}{16}$。当电子从外轨道或能级落进内轨道或能级之时，它损失了位能，而增加了动能。可以证明能量的总损失等于动能的增加。如果假定电子在最内一能级的动能为ε，则自第二、第三等层落进第一层所损失的能量各为$\varepsilon-\varepsilon/4$，$\varepsilon-\varepsilon/9$等，即$3\varepsilon/4$，$8\varepsilon/9$等量。对于更长的跃迁可以给出另一系数字，如从第三层落进第二层，所损失的能量为$\varepsilon/4-\varepsilon/9$即$5\varepsilon/36$。

电子从一个轨道或能级跳到另一个时，即吸收或发射能量$h\nu$，式中h为普兰克的作用单位，ν为振荡频率。因为所损失的能量为$3\varepsilon/4$，$8\varepsilon/9$等，而h为一常数故ν_1 ν_2等频率之比当为 3/4，8/9等，这和紫外光谱里的谱线频率之比相符合。同时电子跃至第二能级时所得的另一系频率开始于5/36，又与巴尔默系相符合。

辐射的各种不同的类型可以归因于原子结构的各不同部分。X射线的光谱大都不受温度或原子的化合状态的影响。而可见光与红外及紫外光的光谱则与这两者有关。放射现象，上面说过，是原子核的爆裂造成的。现今所得的数据表明X射线起源于原子核外的内层电子，而可见光与红外及紫外线则来自最外层的电子；这些外层电子比较容易脱离，因而是和凝聚力与化学作用有关系的。

假设一个或多个电子同时存在于互相化合的二原子内，则可给化合作用以很好的解释。但如果围绕原子核而转动的电子理论来表示这种结合，则未免困难，因此在1916至1921年间，有人，特别是科塞尔（Kossel）、刘易斯（Lewis）与兰格缪尔试图创造静止的原子模型。这种模型对于原子价与化学性质的解释是成功的，但要想阐明光谱则不得不创设牵强附会的假设了。无论如何，当时的物理学家总是偏向于玻尔的动力的原子模型的。

395　无论采取哪一种原子模型，电离电位的事实，确是能级的基本观念的有力的证据。1902年勒纳德首先证明，电子经过气体时，必具有一定最低限度的能量，才足以产生电离。这最低的能量可以用电子为了获得其速度所必须降落的电位的伏特数来量度。最近实验的结果，如弗兰克(Franck)与赫兹关于汞蒸气的实验(1916—1925)，证明当电位达到某一定伏特的倍数时，电离便达到某些明确的极大值。同时气体的光谱也发生了变化。例如弗兰克与赫兹证明，具有4.9伏特所产生的速度的电子使低压的汞蒸气发出具有一条明线的光谱。可以设想，这条谱线相当于玻尔原子内电子从第一外层回到其正常状态的跃迁。自那时以后，正象玻尔学说所预期的，已经发现许多"临界电位"，同突然出现的若干条或若干群谱线相当。萨哈(Saha)、罗素(Russell)、福勒(Fowler)、米尔恩(Milne)等研究了温度与压力对于光谱的影响。他们用热力学的方法应用

了这些新概念。所得结果在天体物理学上有很大重要性，而且在恒星温度的测量方面揭开了新的一页。

图13所表示的圆形轨道，仅是氢原子的一个初浅的模型。玻尔与索末菲 (Sommerfeld) 都证明椭圆轨道也可产生同样的系线光谱。他们也研究了其他更为复杂的原子系统，但数学上的困难很大，因为互相吸引的三体的运动不能以有限的项数来表达。

关于玻尔原子的文献很多，进展也很不少。其结果与光谱的粗略结构大体相合，很足以使人相信这个学说在正确的途径上前进。但是这个学说虽然能说明氢和电离氦的线状光谱，却不能解释中性氦的原子光谱的精细结构，以及其他重原子的复杂结构。谱线的数目与电子从一能级到另一能级的可能跃迁数，不再相符。于是一时极为成功的玻尔原子学说渐露破绽，到1925年就显然逐渐破产了。

量子力学

玻尔的原子模型，把电子比拟为运转的行星。这个模型远离观察到的事实，超出万无一失的范围。对于原子，我们只能从外面进行考察，观察进去的与出来的东西，如辐射或放射质点等。玻尔所描绘的是至少可以产生原子的某些性质的一种机制。但是别的机制或许也可以产生同样的作用。如果我们只见时钟的外面，我们可以想象有一套推动时钟指针的齿轮，使指针的转动与我们所看见的相同。但是别人也可想象有另一套齿轮，与我们所想象的一样有效。二者孰是孰非，无人可以断言。此外，仅仅研究一个体系中热量与能量的变化的热力学，也并不能利用原子观念所描绘的内部机制的图象。

396

1925年，海森堡只根据可以观察到的事实，即原子所吸收或发

射的辐射，创立了量子力学的新理论①。我们不能指定一个电子某一时刻在空间中所占的位置，或追寻它在轨道上的行踪，因而我们无权假设波尔的行星式轨道的确是存在的。可以观察到的基本数量是所发出的辐射的频率与振幅以及原子系统的能级。这些数量正是这个新理论的数学公式的依据。这一理论已经由海森堡、玻恩(Born)和约尔丹(Jordan)迅速加以推进，并从另一观点由狄拉克(Dirac)迅速加以推进，而且证明，从这一理论可以推出巴尔默关于氢光谱的公式，以及观察所得的电场与磁场对这一光谱的效应。

1926年，薛定谔从另一个角度来解决这个问题②。他发挥了德布罗意关于相波与光量子的研究成果，根据“质点由波动体系组成，或者说只不过是波动体系而已”的观点，导出另外一个理论。这个理论，在数学上实与海森堡的理论等价③。他以为，运载这种波的介质具有散射性，如透明物质之于光，或高空电离层之于无线电波(413页)一样。所以周期愈短，速度愈大，而两种频率不同的波有同时共存的可能。

397

① *Zeitschrift für Physik*, 33, 12, 1925, p. 879 and 35.8—9, 1926, p. 557. 概要见：H. S. Allen, *The Quantum*, London, 1928; A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge, 1928, p. 206。

② *Annalen der Physik*, vol. LXXIX, 1926, pp. 361, 734.

③ 海森堡与薛定谔的数学，导致相似的方程式。根据哈密顿的原理，他们得到一个公式：

$$qp - pq = ih/2\pi,$$

式内 h 为作用量子，i 为 -1 的平方根。q 和 p 叫做坐标与动量，这两个名词在这里应用的意义不同寻常。玻恩与约尔丹以为 p 是一矩阵，即无限个量排列为对称的阵列。狄拉克认为 p 没有数的意义，虽然在最后，数字从方程式中出现。薛定谔以为动量 p 是一算子，即用以对它后面的量施行数学运算的符号。不管给与它们的物理意义为何，上述的方程式，如爱丁顿所说的，似乎就是或几近于物理世界中每个事件的根本（参阅上引书第207页）。

正如在水中一样，一个单独的波的速度与波群或浪的速度并不相同。薛定谔发现：计算两个频率组成的波群的运动的数学方程式，与具有相当动能与位能的质点的通常的运动方程式相同。由此可知，波群或浪在我们面前表现为质点，而频率则表现为能量。这就立刻导致最初出现在普兰克常数 h 中的能量与频率的不变关系。

两个振荡很快、以至不能看见的波，可以因为相互干涉，而产生表现为光的一些"拍"，正如两个音调相差不远的声音，可以产生音调比任何一个都低的拍一样。在含有一质子与一电子的氢原子里，波一定依照方程式的规定而存在。而薛定谔发现，只有在确定的频率，即与观察到的谱线相同的频率的情况下，这些方程式才有解。遇到较复杂的原子，玻尔学说本来已经失去效用，薛定谔却还能求得频率的正确数目，以解释光谱的现象。

如果薛定谔的波群中的一个很小，则无疑地可以指出表现这个波群的电子的地位。但随着群的扩大，电子可在波群之内任何地方，因此位置便有某些不确定。这些原理在1927年由海森堡加以推广，后来又由玻尔加以推广。他们发现：愈是想把质点的位置测定得精密些，则其速度或动量的测定将愈不精密；反之，愈是想把质点的速度或动量测定得精密些，则其位置的测定将愈不精密。总之，我们对于位置的必然不确定度与对于动量的不确定度相乘，无论如何近似地等于量子常数 h。要同时确定两者的想法，似乎在自然界中找不到对应的东西。爱丁顿将这一结果叫做测不准原理，并且认为这一原理与相对论有同等的重要性①。

新量子力学在习惯于革命的物理科学中又掀起了革命。海森

① A. S. Eddington，上引书220页。

堡、薛定谔和其他学者的数学公式是等价的。我们如果满足于这些数学方程式，对于这个理论便会有相当的信心。但是这些方程式所根据的观念，以及某些人给与它们的解释，却根本互不相同。我们很难说这些观念与解释可以维持很久，不过表现这些观念和解释的数学却是一个永久的收获。

398

古典力学已经成为量子力学的极限情况。古典力学之所以不能解释原子结构，是由于波长与原子的大小相近，正象当光束的宽度，或其行程中所遇的障碍物的大小与波长相近时，几何光学中所说的直线光束，也就失却其意义一样。即使在这时，要把量子力学与古典动力学与麦克斯韦的电磁方程式以及与万有引力的相对论联合起来，似乎也有可能。如果能够把知识作这样广泛的综合，这种理论将成为自然科学中有历史意义的伟大综合之一。

薛定谔的理论必须联系电子的实验来考虑。这些实验，如德布罗意的理论所表示的，证明一个运动的电子伴随有一系列的波。汤姆生的微粒，起初被看做是漫无结构的质点，继后被认为是电子，一个阴电的简单单位，不管这具有什么意义。但到了1923年和1927年，戴维森(Davisson)与耿斯曼(Kunsman)以及戴维森与革末(Germer，当时在美国工作)先后使运动缓慢的电子自晶体的表面反射，而发现它们具有波动系统的衍射性质[1]。同年稍后，J.J.汤姆生爵士的儿子乔治·汤姆生以一电子束通过一个异常之薄的，比最薄的金箔还薄的金属片。我们知道，质点流会在薄片后面的底片上产生一块模糊的影象，但波长与薄片厚度相近的波，会产生明暗相间的圆环，与光线通过薄玻璃或肥皂膜所产生的衍射花样相似。事实上，乔治·汤姆生所得到的确是这种圆环。这说明，运动

[1] *Physical Review*, XXI, 1923, p. 243; and *Nature*, CXIX, 1927, p. 558.

的电子伴有一列的波，这些波的波长仅是可见光的波长的百万分之一，而与有相当贯穿力的X射线的波长相近①。

根据理论，如果电子伴有一列的波，则电子必须和这些波作协调的振动。因此，电子也必有它的结构，它也绝不再是物质的或电的最小单位了，即令在实验中也应该是这样。于是人们开始想象还有更小的部分。数学的研究表明，电子的能量与波的频率成正比，而电子的动量与波长的乘积为一常数。由于原子中仅有某些波长与频率，所以，电子的动量也只能有某些数值，并且不是连续地增加，而只能突跃地增加。这个非连续性的表现使我们又回复到量子论。 399

要解释乔治·汤姆生的实验，就需要假定电子具有双重性质：既是质点（或电荷），又是波列。上面说过，薛定谔走得更远，而认为电子是一种波的系统。波的性质是不确定的。波必须符合某些方程式，但可能不具有机械式的运动。而这些方程式可能只符合概率的交替，这一项在正常波里，度量位移量，可以给出电子出现在某一给定点的概率（机遇）。

于是在原子被分为电子之后三分之一个世纪，电子又被分为一未知的辐射源或一无形体的波动系统了。昔日的坚硬而有质量的质点的最后一点痕迹已经消失，物理学的基本概念似乎已经归结为数学方程式了。实验物理学家，特别是英国人，对于这种抽象概念很是感觉不安，企图设计一种原子模型，而从机械或电的角度去表达这些方程式的意义。但牛顿早已见到，力学的最后基础绝不是机械的。

---

① G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.* A CXVII, 1928, p. 600. 并看 J. J. Thomson, *Beyond the Electron*, Cambridge, 1928.

相对论①

光线传播需要时间，是丹麦天文学家勒麦(Olaus Römer)在1676年发现的。勒麦发现木星的一个卫星两次被食之间所经历的时间，在地球背木星而行时较长，在地球向木星而行时较短。他由此估计光速为每秒192,000英里。

五十年后，英国皇室天文学家布莱德雷从恒星的光行差求得与此一致的结果。从地球轨道面上的远星看地球，好象每年左右摆动一次，在相继的两个半年中，它的摆动方向是相反的。如果这颗星射出的光线击中地球，那么这条光线的瞄准方向必须在地球的前面少许，正如射击飞鸟必须瞄准飞鸟的前面一样。所以，如果400 星光现在射到地球真正位置的右边，则六个月以后便会射到它的左边。这意味着：我们在不同的时季所看见的远星射来的光线，不是互相平行的，在一年内看见星好象在空间往返运动。从这个表面的运动，可以计算光速与地球在其轨道运行的速度之比。

斐索(Fizeau)在1849年首先对光经过地球上的短距离的速度作了测量。他将一束光通过齿轮上两齿间的凹处，再于三、四英里之外，用反光镜将光反射回来。如果齿轮不移动，则反射回来的光束通过轮上的同一凹处，可在对面看到。但如果将齿轮急速转动并调节其速度，则最后可找到一个速度，使射回的光束恰被下一个齿轮所遮住。齿轮旋转这个小角度所需的时间，显然即是光束往返于齿轮与反光镜之间所经历的时间。

弗科设计了一个更好的方法。使从 S 缝(图14)射出的光束略成会聚的形式，然后在平面镜 R 上反射，而聚焦于凹面镜 M 上。

① A. Einstein, *Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie*, Braunschweig, 1922; *The Meaning of Relativity*, London, 1922. A. S. Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, 1923 and 1924.

这束光由 M 循原点射回。如果 R 是静止的，则 S 缝的影象将形成于 S 缝的本身上。然后以已知的速度使 R 急速转动，当光线往返于 RM 的距离时，R 镜已经转过了一个小的角度，因此光的回程 RS' 与 RS 不复叠合，而转动了二倍于 R 镜所转的角度。于是测量 SS' 间的距离，便可计算光往返于 RM 间所需的时间。

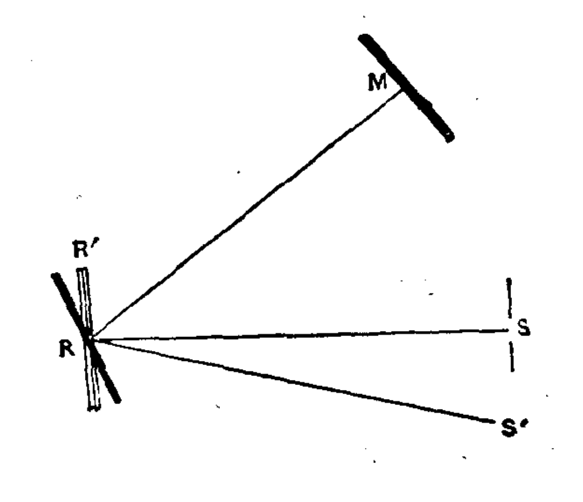


图 14

光速最新的测量结果，比从前测量的稍小，即在真空内，为每秒 186,300 英里或 2.998×10^{10} 厘米，或在 1/1000 的误差内取为 3×10^{10} 厘米①。

如果的确有光以太那样性质的东西，那么由于它对于通过它的光要产生影响，显然应该可以测定其运动。如果地球在以太中运动，而不扰动它，则地球与以太之间必有相对运动。那么光随以太顺行时，其速度必较其反以太逆行时为大；而总计起来，它往返 401 横过以太流时，也当较其一次顺流、一次逆流时为大。好象游泳一样，往返对岸一次，必较顺流、逆流同游相等距离的情形为速。

这就是迈克尔逊(Michelson)和莫利(Morley)在 1887 年所作的有名实验的要点。他们将一块石头浮于水银之内，然后将仪器装置在石头上面，以防振动。光束 SA(图15)行至玻璃片 A 时，一部分为其所反射，一部分透射过去。这两部分光在 B 和 D 处又为 B 与 D 两镜所反射。如果 $AB=AD$，则两道光的行程也相等，而

① M. E. J. G. de Bray, "The Velocity of Light", *Isis*, No. 70, 1936, p. 437.

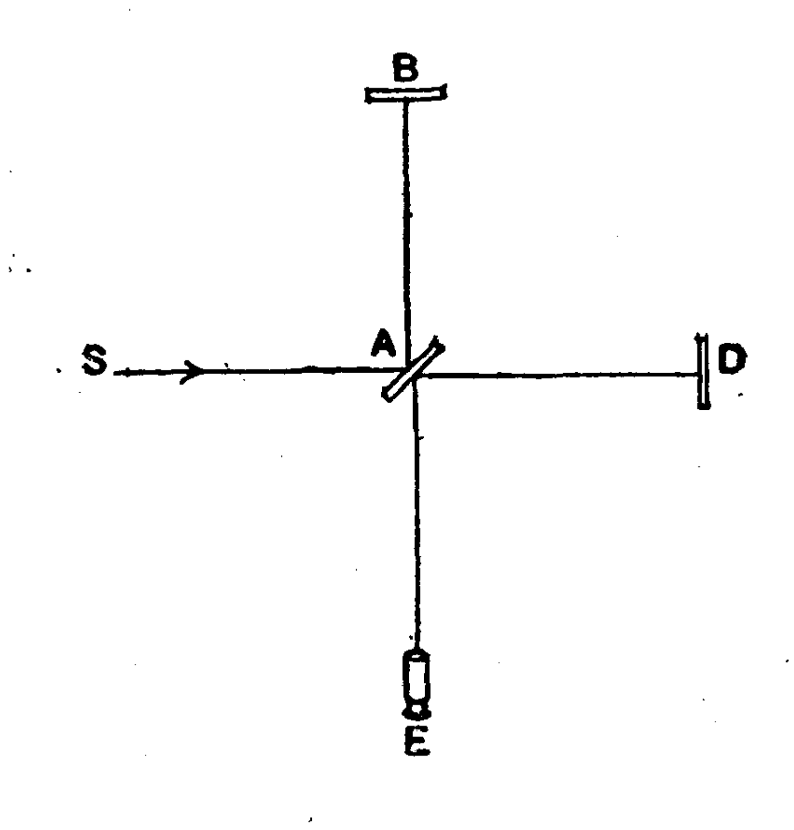


图 15

在 E 处的望远镜内必可察见有干涉效应。今若设想地球朝 SAD 方向运动，而不拖曳以太同行，那么以太将流过实验室，也如风之流过树林，于是将使光经过 ABA 与 ADA 两行程的时间发生差异，而所得的干涉条纹，将和以太相对静止时不在同一位置。今若将这仪器转过一个直角，则 AB 成为运动的方向，而 AD 和它垂直，这时，干涉条纹应向相反方向移动。移动的总量为以上所说的两倍。

但是迈克尔逊和莫利并没有观察到干涉条纹有可以度量的移动，于是断定地球与以太之间并无可以察觉的相对运动。重复做 402 这个实验的结果表明，在他们的假设下，这种相对运动，必然小于地球在其轨道上的速度的十分之一。地球好象拖曳着以太同行。

可是在以光行差计算光速时，我们假设以太不被地球在以太

中的运动所扰动。而且洛治1893年在两个以(或超过)最大安全速度转动的重钢版之间，测量光的速度，也未发现光速有任何改变。由此可见，质量这样大的东西并不拖着其附近的以太同行。那末光行差的理论和从洛治实验中得出的推断，似乎又和迈克尔逊及莫利的实验结果完全不一致了。

当我们得到这样相反的结果时，如果我们还相信自然的统一性，使我们就可以断定：我们的实验和我们对于起作用的原因的看法，总有一个发生了错谬；一个富有兴趣而且必需的观念上的革命就在我们的眼前，只看我们能否领悟。

解决这个矛盾的第一个有用的看法是菲茨杰拉德(G. F. Fitz-Gerald)提出来的，又经过拉摩与洛仑兹加以发展。如果物质在根本上是带电的，或者物质的确是靠电力结合在一起的，那么，物质在带有电磁性的以太中运动时，在其运动的方向上或有收缩的可能。这种收缩除上述的现象之外，别无他法观察；一则因为效应太小，再则因为我们用以测量的尺度本身也受同样的收缩，因而在其运动的方向上，长度的单位也变短了。所以迈克尔逊与莫利的仪器，于转变方向后，也变更其大小，以至与地球经过以太时所产生的干涉条纹的移动相抵消了。

这种必需的收缩是容易计算的。物体在以太流的运动方向上将按$(1-v^2/c^2)^{\frac{1}{2}}$的比例收缩，式中$v$为物体和以太的相对速度，$c$为不变的光速。

地球在其轨道上的速度为光速的万分之一。如果在一年的某时这是它经过以太的速度，则迈克尔逊与莫利的仪器于转动一直角时将收缩二万万分之一，这种微量的改变足以解释他们的结果。

这个问题停顿在这里若干年。无论其原因何在，所有测量光速的企图，不管是以太流顺行或逆行，都得到相同的结果，即测得

的速度没有可以觉察的改变。

403　1905年，爱因斯坦教授对于这问题，从另外一个完全新颖的方向加以考虑。他指出：绝对空间与绝对时间的概念是想象中的虚构，一种形而上学的概念，而不是直接由物理学的观察和实验得来的。我们经验所能及的唯一空间，是用尺度上二刻度间的距离所规定的长度标准来测量的，唯一时间是用天文现象所规定的时钟来测量的。如果我们的标准也发生了菲茨杰拉德收缩这样的变化，这种变化是我们觉察不到的，因为我们和这些标准一道前进，也发生相同变化，但是，以不同方式运动的观察者却是可以觉察到这种变化的。所以时间与空间，不是绝对的，而只是与观察者相对的。

这样看来，用任何仪器、在任何情况下测量，所得的光速总是一样的事实，便不须解释了。必须承认，这个结果是新物理学第一次发现的定律。这样，可知由于时间与空间的性质，相对于任何观察者，光总是以所测得的相同的速度进行。

这个测定的速度总是一样的，但是我们对空间、时间与质量作个别测量时，不论是时间、空间或质量都没有表现出我们习惯于预期的那种恒常不变性。迈克尔逊与莫利的仪器，用我们不变的标准(光速)对它加以检验，在转动时并不表现长度上有变化。这是由于我们跟随着它运动。但是，如果在枪弹飞过时，我们能足够准确地测量其长度，我们应发现它较静止时为短，而且它的速度愈近光速，它的长度也就愈短。

这个实验很难实行，但用相对性原理很容易证明：射弹的质量对于静止的观测者表现增大，而且依照长度缩短的比例而增大。设m_0为低速时的质量，则高速v时的质量为$m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$，式内c为光速。因此速度达到光速时，质量为无穷大。质量的改变可以用实验证明。测定以近于光速的速度经过我们身边的射弹的质量，

是现代科学的奇迹之一。爆裂的放射原子所射出的β质点，可以使其经过电场与磁场，而测量其速度与质量，象测量阴极射线质点的速度和质量时一样。假设以速度不大的β质点的质量为1，则下表第二行为：根据相对论计算的、速度近于光速的β质点的质量，第三行为考夫曼根据实验测量所得的β质点的质量： 404

质点的速度每秒厘米数	质量与缓行质点质量之比	
	计 算 值	实 验 值
2.36×10^{10}	1.65	1.5
2.48×10^{10}	1.83	1.66
2.59×10^{10}	2.04	2.0
2.72×10^{10}	2.43	2.42
2.85×10^{10}	3.09	3.1

β质点为阴性的电子，运动时等于电流。所以它们能产生具有能量与惯性的电磁力场。J.J.汤姆生与西尔(G.F.C.Searle)按照这个推理的路线，计算过质量随速度增加的数值，得到了相同的结果。所以质量的增加，象菲茨杰拉德的收缩一样，是与电磁理论相符合的。

而且根据相对性原理，质量与能量是等价的。一份质量m，若以能量表之，则为mc^2，这里c是光速。这也是与麦克斯韦的电磁波理论相符合的。按照这个理论，电磁波具有的动量等于E/c，这里E表示它们的能量。而动量为mc，于是我们便又得出$E=mc^2$了。

由此可见，这些原理引出了新奇意外的结果。如果我们在飞机(或以太机)内，能以近于光速的速度飞行，则我们在运动方向上的长度，据地上观测者的测量，似已缩短，我们的质量似已增大，而

我们的时计也较一般的变慢。但是我们自己并不觉察有这些变化。我们的尺子或已收缩，但是我们和我们四周的一切均已收缩，所以我们不觉其变化。我们的砝码或已增加质量，但我们也是一样地增加了。我们的时钟或许走得较慢，可是我们脑里的原子也运动得慢了，所以并不知时钟走慢了。

但是，因为运动是相对的，地上的观测者也正以我们对他运动的相等速度，对我们运动。所以我们对他加以测量时，便会发现他的尺度、质量与时间，也对我们表现变化，正如我们的这些量对他表现变化一样。自我们看来他好象在运动的方向上，产生了畸形的收缩，具有与其身体不相称的质量，而在身心方面迟钝得可笑；405 同时他对我们也有同样的观感。双方都不觉得自己的缺陷，而对于对方的悲惨变化却看得很清楚。

我们不能说两方的观测者哪一个是错误的。的确，双方都是对的。长度、质量与时间并非绝对的量。它们真正的物理数值，就是由测量所表示的。它们对双方不一样这一事实说明，它们的意义只能相对于某一观测者而规定。绝对长度、绝对空间、绝对时间或甚至时间流动的观念都是形而上学的概念，远远超过观测或实验所表示或证明的。

虽然如此，如柏格森(Bergson)所指出，在哲学的意义上，对于一个随着某系统运动或在某系统内运动的人来说，所度过的那段时间，即用以测量这个系统中的事件的时间，具有其特殊的、独一无二的重要性。但是在物理的意义上，时间与空间，单个来考虑，则是随观测者的位置而定的相对的量。不过，明可夫斯基(Minkowski)于1908年指出，时间与空间的变化互相补偿，因此，这两者的结合，就是在这新世界里对于所有的观测者也都是一样的。我们惯于想象的空间，有长、宽、高三维，而明可夫斯基指示，我们必须

把时间看做是“时空结合体”里的第四维，一秒钟相当于186,000英里，即光在这时间内所行的距离。正如欧几里得几何的连续空间中，两点的距离，无论如何测量都不变更一样，在这新的时-空连续区里，两个“事件”之间可以说有一个包括时间与空间的“间隔”，这间隔无论何人测量，都有它真正绝对的数值。我们觉得在这个变化不定的世界中，在这里找到了一种稳固的东西，因而想在这个相对性的王国内去寻求其他能保持其绝对性的量。在我们已知的量里，我们认为下面几个仍属绝对的量：数，热力学的熵，以及作用（作为量子的能量与时间的乘积）。

在空间与时间互不相干的旧世界里，人们习惯于把三度空间的整体看做是同时随着时间过去的。世界的过去和将来之间，好象隔着一个“现在的平面”，这个平面在同一刹那间伸展至空间的全部。但自1676年勒麦发现光以有限的速度进行以后，人们必定认识到，同时出现的星星实际上存在于不同的过去时间（视其不同的距离而定），至今才同时为人所看见；这样“同时”的意义便消失了。406
昔人信念中的绝对的“此时”变成仅仅是相对的“所见的此时”了。

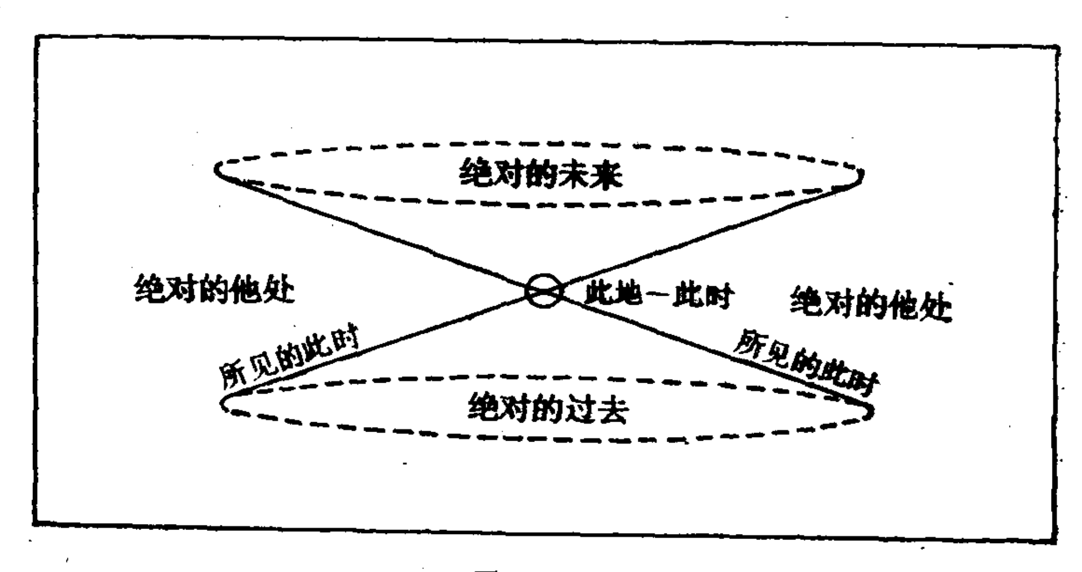


图 16

科学中最近的发展已增强了相对性的观念。假设一位以光速旅行的人，游历星球，而在一年以后重返地球。在我们看来，在他飞行时，其质量好象大至无穷，而其脑筋的反应慢至无穷。我们觉得长了一岁，而他则以为时间毫未过去，他还停留在我们去年的"此时"。由此可知，认为过去与未来为一平面所划分，这个平面对于所有地区和所有人类都一样，这一类概念必须摈弃。必须从爱丁顿所谓的"此地-此时"(here-now)的一点，在空间绘出几条"所见的此时"(seen-now)线，与时轴(time-axis)成一角度，而这个角的正切等于光速①。在这样绘出的三维面(类似于二维的一对锥形或滴漏形的曲面)内任何一处，我们可以找到一个绝对过去与绝对未来。在此以外，事物可以在任何观测者都觉得是不同的时间中同时存在。将过去和未来分开的劈形中立区可以叫做绝对的现在或绝对的他处，视我们从时间的角度还是从空间的角度去看它。

我们凭直觉意识到的时间自过去到未来的流动，在可逆的物理学中，是没有对应的。普通动力学系统(无论其为地上的或天文的)的运动方程式，从正反两个方向去了解都一样；我们不能从牛顿的公式说明行星朝哪一方向围绕太阳运行。

407

但是，在热力学第二定律和孤立系统中熵循一个方向向极大值增加的例子里，我们可以找到一个只能向一方进行的物理过程。因为互相冲撞而形成的分子的无规律散射，只能使这些分子接近于误差律所规定的分配速度。除非我们召唤麦克斯韦的"魔鬼"把各个分子控制起来，或守候长久的时期，以待分子因巧遇而联合成群，否则，只有赖时间的倒流才能使这个混杂的过程逆转。如果我

① A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge, 1928.

们看见速度相等的分子逐渐类聚成群，我们可断言时间在倒流。热力学第二定律，熵增大的原则，说明一个重要无比的自然过程，相当于人类意识中时间一去不回头的前进。

相对论与万有引力

1894年，都柏林的菲茨杰拉德说："重力可能是由于物质的存在使以太结构发生变化所致。"① 这句用旧物理学的语言说出的话，表达了爱因斯坦1915年把广义相对论应用于万有引力所得的结果。他证明空间的性质，尤其是光的传播现象表明，除非是在无穷小的区域内，明可夫斯基的时-空连续区和黎曼的空间相似，而不是和欧几里得的空间相似②。

在这种时-空里，有些天然路线，同三维空间里，我们所惯于想象的，物体不受外力作用时所走的直线一样。既然抛射体向地球坠落，行星围绕太阳运行，可见这些路线靠近物体时即发生弯曲。因此，在物质的附近，必定有某种类似"时-空曲率"的东西存在。另一物体进入这弯曲的区域时，即循一条一定的路线走向或环绕这团物质而运行。的确，当我们从质量的角度而不是从电的角度去着想时，现今所谓物质的意义，不过是有这种曲率存在的时-空区域而已。如果我们阻止这第二物体的自由行动，如借椅子或地面 408

① *Scientific Writings*, p. 313.

② 两点间的距离，依坐标 dx, dy 之差而变。如果这变化的形式为：

$$ds^2 = g_{11} \cdot dx^2 + 2g_{12} \cdot dx\, dy + g_{22} \cdot dy^2,$$

这就是黎曼度规(metric)。其一个特殊情形为下式所给出：

$$ds^2 = dx^2 + dy^2,$$

在连续区为欧几里得空间时，这就是毕达哥拉斯定理。

g_{11}, g_{12}, g_{22} 等数量不但规定了连续区的度规形式，且规定了万有引力场。从这些数量间的最简单的数学关系式，爱因斯坦发现了重力的新定律。

的分子的冲撞使其停止的话，我们就是对它施力，但这物体却觉得这是由于它自身的“重量”所造成的。

这种效应容易用电梯加以说明。当电梯开始上升时，它受到一个加速度。这加速度在乘客看来，好象是其体重的暂时增加；增加之量，的确象普通重量一样，可用弹簧秤去衡量的。加速度的效应与所谓万有引力场中的暂时增加的效应完全相同，而且现在还不可能用我们已知的任何实验方法把这两个原因区别开来。

不过，如果现在让这电梯自由坠落，乘客将不会感觉他们在运动。如果有一乘客释放其手中的苹果，它不会比电梯坠落得更快，而仍将留在乘客身旁。这个首次把相对论运用于万有引力的“等价原理”，是爱因斯坦在1911年提出来的，数学上的困难是几年以后才得到解决的①。

由此可见，牛顿关于万有引力的假设可以是不需要的。物体向地球坠落或围绕地球而运行，也许只是跟着它在时-空弯曲区域内的自然路径运行而已。

计算表明，这个理论的推论与牛顿的理论大致相同，——就一般观测的精确度而言，大体上是一样的。但是，对于一两个现象，却可以设计一种决定性的实验。其中最有名的一个是光线为太阳所偏折的观测。根据爱因斯坦的理论，算出的这种偏折度是根据

---

① 参看本书179与203页脚注，有关拉格朗日、拉普拉斯和哈密顿各节。爱因斯坦提出了一些普遍的方程式，在特殊情形下（在某点上既无物质又无能量存在时），这些方程式可简化为拉普拉斯方程式，而当能量全是物质的形式时，这些方程式就是珀松方程式。

在广义相对论中，在静力场中运动的小质点，其运动为拉格朗日的微分方程式所规定：

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\delta L}{\delta \dot{x}_r}\right)-\frac{dL}{dx_r}=0,$$

不过这里 L 不是象古典动力学中为动能与位能的简单差数而已。

牛顿的理论算出的二倍。观测这种微小偏折的唯一方法，是在日全食时拍照太阳圆面附近的星象。1919年日全食时，爱丁顿、克罗姆林(Crommelin)分别在几内亚湾的普林西比岛和巴西两处进行了这一观测。结果表明接近太阳的星象，同远离太阳的星象相比，409 有所移动，而且移动之量适与爱因斯坦的理论相符合。

其次，水星轨道每世纪有42角秒的差异，是牛顿的理论所不能解释的，但为爱因斯坦所阐明。他算得的数字为43角秒。

第三，按照相对性原理，原子在万有引力场内振荡应当较缓慢。平均说来，太阳光谱中的谱线，由于太阳上的重力较强，与地上相当光谱的谱线相比，应该向红色一端移位。这个预期的移位很难查出，但是实验数据的比较，表示其确实存在。在密度大的恒星的光谱内这种位移较大，有人已经在假定其为真确的前提下，应用这一学说来测量恒星的密度。

由此可见，要想作精密的计算，牛顿的理论是不及爱因斯坦的理论的。在量子论与相对论两个方向上，现代物理学似乎正在摆脱伽利略时代以来一向指导物理学而卓有成就的基本概念。新的思想须有新的工具去表达。在某些方面，事情已经很清楚，领导现代科学经过两个光荣世纪的牛顿动力学，已经证明不足以担负现今知识所赋予的任务了。就连原来是古典力学基础的物质的概念，至今也归于消失。所谓物质占有空间而历时不灭的基本观念，今已失其意义，因为空间和时间既非绝对的，亦非实在的了。现今所谓物质，只是时-空中发生的一串事件，以未知的而或有因果关系的方式相联系。由此可知，相对论已加强了最新原子理论所得的结果。牛顿的动力学仍能预测物理现象至高度的精确，仍能解决天文学家、物理学家与工程师的实际问题，但作为最终的物理概念，他的理论只留其荣誉于历史中了。

从广义相对论推导自然定律的最好方法或许就是1915年希尔伯特(Hilbert)所应用的最小原理。亚历山大里亚的希罗曾发现反射光所走的路线，常使其所经行的总距离为最小值。十七世纪费马把这一原理发展成为一个普遍性的原理——最短时间原理。百年以后，莫佩屠斯、欧勒与拉格朗日又把它发展为动力学的最小作用原理，而哈密顿于1834年表明，一切万有引力的、动力学的和电的定律都可以表达为最小值的问题。希尔伯特证明：按照相对论原理，万有引力的作用在于使时-空的总曲率成为最小值①，或如惠特克(Whittaker)所说："万有引力不过是代表宇宙要伸直自己的一种连续努力而已。"②

410

广义相对论马上就废弃了由万有引力而生机械力的观念，重力成为时-空的一种度规性质。但是带电或磁化的物体仍然必须看做是受了力的作用。韦耳(Weyl)等人曾企图把电磁体纳入广义相对论理论中，但未完全成功。1929年，爱因斯坦宣布，他研究出一种新的统一力场理论。这种理论认为空间是一种介乎欧几里得空间和黎曼空间之间的东西，这样一来，电磁力也就成了时-空的一个度规性质③。

1928年，爱丁顿宣布，他在另一个问题上把不同概念协调起来④。电子的电荷 e 以 $hc/2\pi e^2$ 的组合形式出现在两个电子的波动方程式里，式内 h 为量子的作用量，c 为光速。爱丁顿根据量

---

① 所有的物理现象，无论其为万有引力的、电力的或其他的，全决定于一个标量的宇宙函数$\mathfrak{H}$，这函数可使下列积分的变化为零：

$$\iiiint \mathfrak{H}\, dx_0\, dx_1\, dx_2\, dx_3$$

② *British Association Report*, 1927, Address to Section A, p. 23.

③ A. Einstein, 在 *The Times*, February 3rd and 5th, 1929中两文。

④ A.S.Eddington, *Proc. Roy. Soc.* A, vol. CXXII, 1928, p. 358.

子论与相对论算得这个组合式的数值为136，而根据米利根最近测得的 e 值，算得这个组合的值为137.1。这里的误差已超过实验的可几误差，但其近似也颇饶兴趣。的确，所有这一切现代的概念很有可能在一个新的物理的综合下统一起来。

物理学近况

本书第六章所叙述的热力学的基本原理引导汤姆生与焦耳对气体的自由膨胀进行实验，因而促成绝对温标与氢和氦的液化（234页）。以后的年代里，这些方法被应用到工艺上去，于是为工业提供大量的液态空气与其他液态气体，并使物理学家、化学家、工程师得到极低的温度。在大气压力下，氢的沸点为－252.5°C，氦的沸点为－268.7°C。这里可以有趣味地指出，1931—1933年间，卡皮查(P.L.Kapitza)为液化氢与氦设计了一种新型的绝热仪器。这是一种具有松弛活塞的往复机。气体在液态空气或氮里冷却，在机器内受到25—30个大气压，然后使其从活塞和圆筒之间的缝隙间逃逸出去。这样气体就得到进一步的冷却，终于为汤姆生-焦耳的方法所液化。利用现代仪器所造成的低温，离绝对零点还不到一度的几分之一。

411

泰勒(Geoffrey Taylor)爵士用数学方法与实验方法研究，而且接近于提出一种完善的理论。他的研究结果在很多方面可以应用于湍性流体在管道里的流动以及晶体的受范形变，在气象和航空上，用途尤广。

卡皮查于1924、1927年和以后的年代中，先在剑桥、后在莫斯科提出了一个测定金属的磁性和其他某些磁效应的新方法①。这

① *Proc. Roy. Soc.* A, 1924, 1927.

个方法的基本特点是在若干分之一秒的时间内，给绕在试件上的测试线圈通以强大电流，快速工作的目的是为了避免过热；在通电时间内，实验是依靠自动装置来进行的。起初，电源是用一组缓慢充电、快速放电的蓄电池；后来用一台2000瓩的单相交流发电机，当发电机通过测试线圈短接时，电能量的供给是依靠储藏在发电机转子里的动能。当电动力等于零时，自动开关接通了电路；当电动力再一次等于零时，自动开关就将电路断开。这样一来，仅仅半周波交变电流起作用，作用时间大约为1/100秒。发电机的绕组经过特殊的设计，可以产生顶部平坦的电流脉冲波，因此在这很短的时间内，磁场几乎保持不变。磁场可以达到几十万高斯的程度。实验装置的造价很高，需要大规模工艺设备制造，需要建造特殊的实验室来安放它们。线圈和发电机相距20米，在短路冲击到来前，整个实验就结束了，而这种冲击以每秒2000—3000米的速度，通过地面传向实验装置。

卡皮查与斯金纳(H. W. B. Skinner)在第一个厂房用13万高斯的磁场研究了塞曼效应。卡皮查在第二个厂房测量了铋和黄金的晶体的电阻率。他们发现磁场的变化弱的是按平方律，强的是照线性律；在室温到液态空气温度之间的温度范围内测量了35个金属元素。1931—1933年间，利用卡皮查设计的液化氢和氦的新仪器，在相当大的温度范围内，测定了许多物质的磁化率。

412

本书376页介绍过热离子学的初期研究工作。理查森爵士首先详细地研究了电子在真空里从热体逃逸的现象，而且给以完整的说明。同时他在光致发射方面的研究也有助于解释物质与辐射间的相互作用。他也研究了和化学作用有关的电子发射，对于填补紫外光谱与X射线光谱之间的缺隙也有相当的贡献。最近理查

森更应用新量子论去解决氢光谱和氢分子结构的问题。

人们为了研究现代物理学，发明了许多新仪器，这些新仪器也引出不少新的问题与其解答。在这些新仪器之中，我们必须提到电子显微镜。上面讲过，电子流在磁力作用下，离开其直线路径而偏折，正如光线为透镜所偏折一样。而且正象透镜可以借光线而形成一个放大的像一样，磁力也可以用来在照片底版上形成一个图案。因为与电子有关的波的波长是光波波长的百万分之一，所以这些波能够给微小的物体造成一个明晰的形象。例如病毒，已被拍照下来，还有人尝试把分子那样大小的结构，拍照下来。

电磁波的理论应归功于麦克斯韦(1870)，电磁波的第一次发现归功于赫兹(1887)。电磁波在无线电报与电话上的使用靠了两种发明：(1)马可尼(Marconi)将天线用于发播和收集信号，并使足够的能量发生作用；(2)上述热离子管研究成果的应用。

赫兹和早期的实验者所用的电磁波是感应圈所发出的电振荡；这些电波因阻尼大，很快便消失了。但无线电波的传递需要连续而无阻尼的列波。如果将热的灯丝和电池的阴极联接，再使灯泡里的一个金属板和阳极联接，灯丝所发出的电子便会形成连续的阴电流，从灯丝传到金属板。可是将电极互易，使无显著的电流通过。可见热离子管可以用作整流器，使半波通过，半波受阻。如果用铁丝网作成栅极，放在热灯丝与板极之间，而且使其带阳电，它便加强电子的发射，因而增加了热离子流。但是，相反地，如使其带阴电，则会使热电子减少。当电位发生逆转时，电流往返振荡，于是交流便重合在直流上。将这些往返的振荡通过变压器的原电路，再从副电路回去，给栅极以其固有的交流电位，这样便维持住仪器的作用。由此可见热离子管有两种用途，即发射稳定的无阻尼的列波，并于接收时起整流的作用。使这些调整后的电流产生

413

每秒100至10,000次的断续，再使其经过电话机，便可发出一个相当于音频的声音，因而形成了无线电话。

从天线发射出去的能量，可以分为沿地面传播的地波和在地平线上空传播的天波。天波，保持其能量的距离比较其在空间自由传播时所可以预期的要大得多。电波之所以能在长距离上传递，是由于日光使地球高空大气电离，而成为了导体。这一部分大气叫做电离层，也叫做肯涅利-亥维赛层(Kennelly-Heaviside layer)。这个名称是按照首先发现它的两个人的名字命名的。电波进入这一导电区，受到反射与折射而回到地面，如果距离相当长，电波又由地面反回电离层，如是往返数次，好象在甬道里传达一般。靠了研究长距离无线电波的形态，获得许多关于电离层或多层电离层的知识。从事这一工作的先有阿普顿（Appleton）爵士与巴尼特(Barnet)，后(1925)有美国的布赖特(Breit)与图夫(Tuve)。后两人使用的是短暂的脉冲波。1926年，阿普顿证明，高出地面150英里还有一个反射或折射层，比其他层的电性更强。这种反射使无线电波的行径发生弯曲，因而使环球传递成为可能。同一原理也应用于无线电定位，即现今所谓的雷达技术。

固体反射电波，因而在发射处产生回波。这一原理在战争时期有极大的价值，导至1939—1945年间雷达在各方面的惊人发展①。

414　脉冲方法可用于大多数目的。一个电振荡器发出一个厘米波的猝发辐射，有时历时不过百万分之一秒，由磁控电子管供给以足够的能量。这种磁控电子管是伯明翰大学的一个工作组设计的一

---

① *Radar, Governments of the United States of America and Great Britain*, 1945.

种装置。利用天线使能量集中于一个十分确定的波束里。这束波在空间搜索，正如探照灯之照亮远物一般，因而可以发现远处的船只、飞机、飞弹、地形，甚至即将来临的风暴中的雨点。回波被他拍接收机所捕获，而在阴极示波器上表现出来。

1940年，英国的雷达发现了敌人飞机的来袭，在不列颠战役中起了很大的作用，使少数人能够拯救很多人的生命，继后与美国合作，证明盟军的雷达的优越性，大有助于赢得最后的胜利。

海战与航海也因此发生了革命性的变化。由于雷达可以定出远处的船位，因而可以在敌舰还没有出现在视线内时便开始攻击。雷达不受黑暗的妨碍，它可以导引船只穿过雾气，安全入港，且可以导引飞机到达轰炸目标而又返回基地。

核型原子

上面说过，放射物质所发射出的带有阳电荷的质点在云室里的踪迹，通常都是直线的，但是偶尔也可以观察到方向的骤然改变。1911年，卢瑟福根据比较间接的测量导出这些罕见的偏折，因而他想象原子的中心有一个微小的阳电核，在碰撞时把α质点排斥出来①。

起初原子被看做是一个行星系的结构，阴电子环绕核心，在牛顿式的轨道上运行。但是上面说过，量子论的创立与应用，在原子的概念上引起了一场革命。新理论的主要特点在上述的那个时期里已经建立。但是在以后的年代里又掀起另外一场观念上的革命，

① N.Feather, *Nuclear Physics*, Cambridge, 1936; Lord Rutherford, *The Newer Alchemy*, Cambridge, 1937; G. Gamow, *Atomic Nuclei*, Oxford, 1937; E. N. da C. Andrade, *The Atom and its Energy*, London, 1947; Sir George Thomson, *The Atom*, Oxford, 1947.

主要是由于发现了原子内新型粒子并且发现了产生、计数和使用它们的方法。

415　在叙述这些新的粒子以前，我们必须追溯一下阿斯顿等人在元素及其同位素的原子量的知识方面所取得的巨大进展①。阿斯顿的质谱仪（第一部质谱仪现时陈列在南肯辛顿科学博物馆内），是根据J.J.汤姆生研究阳射线的仪器的原理制成的。玻璃球B（图17）为水银唧筒维持在低压下，其中盛有要研究的元素的挥发性化合物，或者是这种元素的卤盐所构成的阳极。阳极在A，阴极在C，其中穿有一隙缝S_1。从阳极来的经过阴极隙缝的阳射线，再

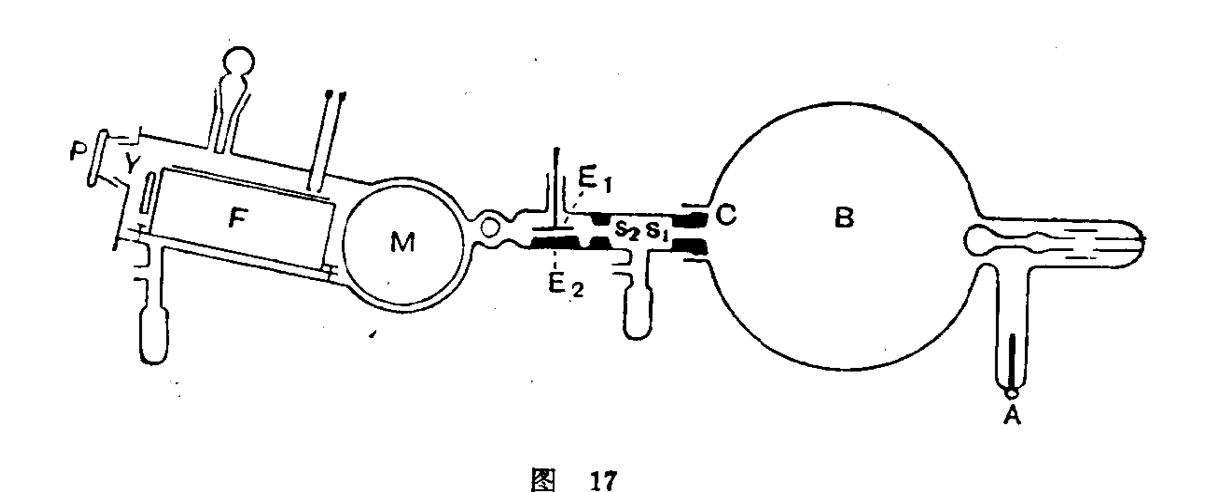


图　17

经过第二隙缝S_2形成一个狭窄的阳射线束。这一窄束又经过两绝缘板E_1和E_2之间，这两板同200—500伏的电池组的两极联结，这样，这一射线束就展开成为一个电波谱。再利用两个光栏将这波谱的一部分隔离，然后使它在电磁铁M的两极之间经过。两个接地的铜版F保护这些射线，不受偶然的电场的影响，于是射线形成隙缝的聚焦像，而落在照相底片上。电磁力所造成的偏折，

① F. W. Aston, *Mass Spectra and Isotopes*, London, 1933.

使速度不同而有相同的 e/m(电荷-质量比)值的射线,聚焦在底片的同一点上。

如果取一条谱线作为已知,把它与未知电磁场里的其他谱线比较,便可测定原子射弹的相对质量。或者将磁场维持不变,调整电场,使未知谱线占据已知谱线先前所占的位置,也可以根据电场的强度算出相对质量。这两个方法均可以将已知和未知粒子的质量加以比较。这个仪器所给出的测量值仅仅取决于质量,所以叫做"质谱仪"是很恰当的。第一台仪器所测得的质量,误差为1/1000,第二台改进到1/10,000。芝加哥的登普斯特(Dempster)发明了另 416 一种仪器,内有磁场使射线弯曲成半圆形。还有一种质谱仪是哈佛的班布里奇 (Bainbridge) 所设计的,可以用来进行很精密的测量。

1919年,阿斯顿的第一台质谱仪使用之后,研究成果纷至沓来。两条确定的谱线证实了汤姆生研究氖的结果,在某一时期里差不多每个星期都有新的同位素发现。1933年,阿斯顿在他的《质谱与同位素》(*Mass Spectra and Isotopes*)一书中说:"在一切已知有相当数量存在的元素里,现在只有18个还没有分析过"。到1935年,人们已经知道有250种稳定的同位素了。最复杂的元素好象是锡,它有11种同位素,其质量数自112至124。根据这些实验,普劳特首先提出的原子量是整数的规律,已经得到证实。210这个数字以下,差不多每一个数字都有一个稳定的基本原子。许多位置,两次或三次被某些同位素占去,它们叫做"同量异位素",换句话说,即是重量相同而化学性质不同的原子①。

① F.W. Aston, "Forty Years of Atomic Theory", in *Background to Modern Science*, Cambridge, 1938.

如上所述，α和β粒子的性质已为卢瑟福早期关于放射现象的研究所肯定了。α粒子是氦原子核，根据阿斯顿的测量，它包含一个4.0029(氧取为16)的核质量和一个阳电荷$+2e$，即两倍于电子上的阴电荷$-e$。α粒子运动的速度在每秒2×10^9厘米或10,000英里左右。氢原子核或质子，包含1.0076的质量与一阳电荷$+e$。伯奇(Birge)指出，事实表明有氢的重同位素存在，同时吉奥克(Giauque)与约翰逊(Johnson)，继后有梅克(Mecke)，根据观察带状光谱的结果，取得质量为17与19的重氧存在的证据。

1932年尤雷(Urey)用分馏法发现氢的同位素，其质量为2，等于正常氢的两倍，在一般氢元素里仅占1/4000①。这种重氢(^2H)叫做"氘"(D)。如果使电荷从其中通过，有些原子失掉一个电子，而成为正离子，被人叫做"氘核"。它们好象是质子和中子联系在一起的结构。瓦什伯恩(Washburn)把普通水电离，得到一种新物质：重水，其中氢为其同位素氘所代替。重水为刘易斯所分出，密度比寻常水大11%，而其冰点与沸点也不相同。现在已能制造重水，中性氢(^1H)的质量可以更准确地测定，其值为1.00812。

417

还有另外一些时常穿过大气而来、贯穿力更强的射线，可以在威尔逊云室内探测出来。它们的来源好象在宇宙空间里。这些年来有很多人去研究它们，特别是米利根和他的同事们②。这问题可以说开始于1909年，起初是格克耳(Göckel)，后来是海斯(Hess)与科赫斯特(Kolhörster)，都发现验电器放在升空气球上，比在地

① *Phys. Review*, XL, 1932, p.1.

② R.A.Millikan, *Cosmic Rays*, Cambridge, 1939. R. A. Millikan and H. V. Neher, *Energy Distribution of Incoming Cosmic Ray Particles*, American Philosophical Society, 1940.

面放电更快。这说明位置愈高，造成电离的射线愈多。1922年，包温(Bowen)与米利根将这些实验拿到55,000呎的高空去做，1925年米利根与卡梅伦(Cameron)将验电器逐渐下沉到70呎深的没有镭的水里而发现放电率连续减少。在以后的年份里，有些观测者走得更远。这些射线的贯穿力比地上任何射线都大。地磁对于这些射线的效应，说明其来源不在高层大气里。而且，这些射线的强度昼夜都是一样，因而它们不是从太阳而来的。当银河不在南半球的地平线上时，仍然有这些射线，因而它们的来源也不在我们的星系里，所以它们当是从银河系以外的天体或自由空间而来。

这些宇宙射线的能量可以根据其穿透力加以粗略估计。安德生(Carl Anderson)与米利根首先做了比较精确的测量。他们使宇宙线通过很强的磁场，而观测其偏折。能量在60亿(6×10^9)电子伏特左右相当确定的范围内变化。安德生于1932年利用这仪器发现具有阴电子质量的阳性粒子。这种阳电子，早由狄拉克据理论预言其存在。这种粒子后来被命名为正电子。读者当记得，以前已知的最小的阳性粒子是氢原子的核(质子)，其质量约2000倍于电子。正电子的发现又使我们对于物质的概念发生根本性的改变。

和其他带电粒子一样，正电子穿过物质时产生电磁波。宇宙线的频率比X和γ射线为高，其范围在每秒10^{22}至10^{24}周，而可见光的频率只有10^{14}周。这些频率不是直接测定的，而是将能量除以普兰克常数h而算出的。 418

1923年，康普顿根据量子论，提出可以和电子与质子相比拟的辐射单位的概念，他将这个单位命名为光子。如果一个光子以足够的能量打击一个原子核，特别是重原子核，一对正-负电子同时出现于云室里。这是1933年布莱克特(Blackett)与奥基亚利尼(Occhialini)首先提出，不久即为安德生所证实的。这类成对的电

子的动能约为160万电子伏特，而入射光子的能量为260万电子伏特。这100万电子伏特的差数可以量度电子对的“固有能量”，是具有辐射能量的光子的物质化，这表现辐射转化为物质。反之，假设正负电子互相湮灭，就有两个电磁辐射的光子，每个的能量为50万电子伏特，从相反的两个方向射出。这个设想于1933年经提博(Thibaud)与约里奥(Joliot)由实验加以证实。

在海平面处已经发现具有三、四十亿(10^9)电子伏特的宇宙线。它们常以簇射(阵雨)的形式出现。在14,000呎高的尖峰山(Pike's Peak)，这现象尤其常见。根据贝特-海特勒(Bethe-Heitler)的簇射形成理论，一个入射高能电子先将其能量转化为“冲击光子”，这光子产生电子对，每个电子重演这一过程，直到所有的能量一律降低，成为低能的光子与电子。从地球外面来的正射线可能不会达到海平面，至于在云室里所观测到的高能正负射线，可能是在大气里形成的次级宇宙线。1934年，安德生与尼特迈耶尔(Neddermeyer)假设具有高度贯穿力的踪迹是质量在电子与质子之间的粒子的踪迹，这种粒子经安德生命名为“介子”。这两位物理学家于1938年证实了他们的假设，测量得这些粒子的质量为电子质量的220倍，1939年别的观测者又量得为200倍，而质子的质量约为2,000倍。由此可见，要说明物质的结构，需要一个多么复杂的图案！

在大多数的情形中，宇宙线里的粒子多是电子而很少质子。这表示宇宙线在进入太阳系以前不可能穿过很多物质；这样它们的来源好象不可能在银河系里的恒星上，而必须在银河系外的空间。

419

宇宙线的成因与来源仍然是一个只能猜度的谜。人们提出的假设有如下几种：(1)电子经过某一天空静电场降落而形成说，(2)经过双星磁场形成说，(3)按照爱因斯坦方程式$mc^2=E$，物质质量一部或全部转化为宇宙辐射说。蕴藏量最丰富的元素可能

释放的能量由110至280亿(1.1至2.8×10^{10})电子伏特，一半射向一方，另一半射向反对方向。所以一半所给出的能量在5至14×10^{9}电子伏特之间，观测所得的数值大致也是这样。

上面讲过，1919年卢瑟福发现，用α粒子轰击某些元素，例如氮，引起原子的变化，因而发射出运动迅速的氢原子核(质子)。这发现不久即为布莱克特所证实。他在威尔逊云室里拍照了质子的踪迹。这发现是在受控原子变化实验方面取得巨大进展的起点。这些受控原子变化实验取得了惊人的成果。当波特(Bothe)使质量为9的铍元素受到这样的轰击时，他得到一种贯穿力比铀射出的最硬的γ射线还强的新辐射。1932年，查德威克(James Chadwick)爵士证明这种辐射的主要部分不是γ型的射线，而是一些运动急速不负电荷的粒子流，其质量大约与氢原子相等。取得这些粒子的方便办法就是，将几毫克的镭盐与粉末铍混合，而封闭在一管内，这种粒子即从管壁逸出。由于这些粒子不负有电荷，因而称为中子，在其行程里，它们可以自由地通过原子，而不造成电离。

下表列举了1944年已知的粒子，无疑以后还有更多的发现：

名　　称	质量（单位：电子）	电　　荷
电　子（β粒子）	1	$-e$
正电子	1	$+e$
介　子	200	$\pm e$
质　子	1800	$+e$
中　子	1800	0
氘　核	3600	$+e$
α粒子	7200	$+2e$

除了这些算作物质的粒子之外，还有作为辐射单元的光子。宇宙真是复杂而神秘。

420　费瑟、哈金斯(Harkins)与费米(Fermi)证明中子，特别是慢中子，虽然不能引起电离化，但却可以十分有效地促进原子核变化。它们不象α粒子那样受带正电荷的原子核的排斥，因而容易进入较密的原子核，而改变其性质。例如使用渗透有锂盐的底片进行实验时，在显微镜里便可看见相反的两个踪迹。使用硼，特别是用一种铀的轻的同位素，也可发现类似的变化。

居里-约里奥夫妇用α射线直接轰击这些轻粒子，得到一些新的放射物质。例如硼受了α射线轰击一会之后，便发出正电子流。其放射性的衰变和正常的放射性相似，是时间的几何级数，在11分钟内衰减一半。这种嬗变可以下列化学方程式表示：

$$^{10}B + {}^{4}He \longrightarrow {}^{14}N \longrightarrow {}^{13}N + \text{中子}。$$

氮核^{14}N因具有过多能量，是不稳定的，于是分裂为比较稳定的^{13}N与中子。然后^{13}N更缓缓地转变为稳定的碳原子与正电子：

$$^{13}N \longrightarrow {}^{13}C + \Sigma^{+}。$$

这种放射性的氮可以作为具有氮的化学性质的放射气体收集起来。

人们已经利用α射线、速质子，特别是慢中子使很多种物质变成放射物质，其中慢中子就是对于最重的元素也是有效的。以上只叙述了用直接间接由放射物质得来的各种粒子轰击元素而造成元素的受控嬗变的情况。这样直接间接由放射物质得来的粒子为数不多，因此多年来物理学家希望发明人工制造有效的强粒子流。后来这种希望是实现了。

在氢或其同位素氘里放电，可以得到大量的质子与氘核，但要使它们达到造成嬗变所必需的高速度，必须在很强的磁场里把它们加速。要取得高达百万伏特的高电压，便需要大型的工艺装置，

并需用现代的高速唧筒，以维持高度的真空。

科克拉夫特(Cockcroft)与瓦耳顿(Walton)在剑桥进行的实验是这方面的开路先锋。他们利用一套电容器与整流器将变压器的电压增高，现在所期望的是用大型装置取得具有200万伏特电压的直流电，它能产生长20呎的火花。还有一种静电装置是华盛顿的范·德·格拉夫 (Van de Graaff) 所设计制造的，这装置内有一传输器，不断地将电荷送入一个中空金属绝缘球去，以致达到500万伏特的高电位。

421

加利福尼亚的劳伦斯(E. Lawrence)教授发明一种加速器，名叫“回旋加速器”，离子在这装置里经过一个交流电场，和与之正交的磁场。这个装置使质子和氘核循半径递增的螺旋形的路径而运动，间续地进出于电场。为了达到交流电位的某一特定频率，离子总是在电力处在可以把离子进一步加速的运动方向上的时候进入电场。这样，劳伦斯得到了质子和氘核的强粒子流，其能量高达1600万伏特，而具有100微安的电流。这样获得的效果等于16公斤的纯镭所射出的 α 粒子。

这一类的装置无异是将极强有力的武器放在实验者的手里。科克罗夫特与瓦耳顿证明，可以用大约十万伏特的质子，使锂与硼产生人工的嬗变。从这种电压以至回旋加速器的几百万伏特，现代的实验室现在有了一系列能量范围很广的可以引起嬗变的射弹。

锂有质量为 6 和 7 的两种同位素。在质子的轰击下，有时一个质子进入 ^{7}Li 的核。这样产生的 ^{8}Be 不稳定，立即分裂为两个快速的 α 粒子，即氦核，循相反方向射出。如果用氘核代替质子去作射弹，^{6}Li 捕获一个氘核之后，又产生一个 ^{8}Be 的核，但具有大量的剩余能量。这种 ^{8}Be 的核也象前一个反应一样，分 为两个 α 粒

子，但具有比质子进入 ^7Li 而产生的 α 粒子有更大的速度。^7Li 捕获一个氘核之后形成 ^9Be，再立刻分裂为两个 α 粒子和一个中子。

这些不过是奥利芬特(Oliphant)和哈特克 (Harteck) 首先加以研究的嬗变的几个例子。仅借两万伏特就可以引起这种嬗变，来加速氘核射弹。以后还研究出许多复杂得多的变化。从实验获得许多新同位素，如质量为 3 的氢(^3H)，质量为 3 的氦(^3He)。根

422 据其释放的能量，可以算出这两种同位素的质量：

$$^2H + {}^2H = {}^1H + {}^3H + E$$

$$2.0147 + 2.0147 = 1.0081 + {}^3H + 0.0042。$$

氢和氘的原子量就是阿斯顿用质谱仪算出的数值。至于上式中所释放的能量 E 值是根据观测质子在空气中的行程 (14.70厘米)而算出的这种行程说明质子的能量为298万伏特。释放出的能量的 3/4 应归于质子的动能，因而 E 的总值为397万伏特。根据爱因斯坦的理论，质量与能量是等价的；质量减少 dm 相当于释放 c^2dm 的能量 (这里 c 表光速，以每秒厘米数计为 3×10^{10})，所以与397万伏特相当的质量为0.0042，因而 ^3H 的质量为3.0171。

劳伦斯和他的同事们利用在回旋加速器里形成的、能量为1600万伏特的高速氘核去轰击铋，把它转变为放射性同位素，同天然放射性产品镭E相同。这是一个很有兴趣的成果。同样质量为23的钠或钠盐被高速氘核所轰击，产生质量为24的放射性同位素。这种放射性的钠分裂时，发出一个 β 粒子，而形成质量为 24 的镁的稳定核，其半衰期为15小时。因此劳伦斯得到强的放射钠的源，可以作为镭的代用品，用于医疗工作。

查德威克与戈德哈伯(Goldhaber)使用 γ 射线将氘核 ^2D 分裂为质子与中子。齐拉德(Szilard)将质量为 9 的铍(^9Be)分裂为 ^8Be 与一个中子。这一方法能否发展，取决于能否取得高能强 γ 射线。

在这一时期里得到250多种新的放射性物质。这些不稳定的同位素可能存在于太阳上，也可能存在于刚从太阳分出的地球上，但是随着地球变冷，它们便消失了，只留下衰变期很长的铀和钍了。

这些人工变化里，有些能量变化甚至比天然放射性分裂中的能量变化还要大。例如21,000伏特的氘核可以使一个锂原子变化，而发出2250万伏特的能量。因此可以赢得大量的能量，初看起来好象可以在这里得到原子能的无限源泉。可是在一亿(10^8)个氘核 423 中大约只有一个可以发挥作用，所以出入相抵，我们所要供给的能量超过所获得的能量。而且就中子而论，中子自身只能用效率极低的方法获得。在1937年，的确，看起来好象用人工改变的方法从原子中获得有用能量，并没有多大希望。在这一点上，我们应当记得，在应用科学的历史上，以前希望没有这样大的前景，都曾经使得宗教界的先知们惊恐万状过。事实上，1939年哈恩(Hahn)和迈特纳(Meitner)就发现当铀原子被中子撞击时，它的核分裂为两个主要成分，各占其质量的一半左右，而且出现二、三或四个中子。乍一看来，这好象就是我们要寻找的垒集过程，但事实上只有一种铀的轻的同位素（其原子量为235而不是238）可以分解到有用的程度，可是只有微量的存在。首先发现质量为235的铀的是登普斯特；明尼苏达的尼尔(Nier)和纽约哥伦比亚的布思(Booth)，邓宁(Dunning)与格罗斯(Grosse)旋即研究了它的分解①。同样的过程也发生于钍。那时许多实验室异常努力地从事这些同位素的分离。虽然困难很大，但是由于战争的刺激，很快就把这个工作推向高潮。起初

① Aston, *Mass Spectra and Isotopes*, London, 1942; *The Atomic Bomb*, Stationary Office, 1945.

轻的铀 235 须从成分很大的 U238分出，或用小孔弥散法，或用阿斯顿的质谱仪法。分量少时，由于中子的逃逸，不能引起连锁反应，因而这物质是稳定而无害的。可是如果将无害的两块物质放在一起，而超过一定的份量，分解就逐渐垒集起来，并引起巨大的爆炸。

化学反应是由原子外围的电子的变化引起的，这种爆炸却是由于原子核的破裂所致，自然是一件可怕得多的事情。一磅铀所发出的核能等于很多吨煤燃烧时产生的热能量。

原子量为 238 的铀可用以捕获中等能量的中子，而发射出电子。这个过程形成一种以前未知的元素，被命名为钚(Pu)。

为了和平的目的，可能需要用“缓和剂”来吸收一些在核反应中释放出来的中子，借以控制而且减缓核反应。有些轻的原子，如石墨形态的碳，及前面说过的重水里氢的同位素，都可用作缓和剂。铀238可以插入缓和剂的“堆”中，所释放出来的热能可以用来发电。

424

在1939—45的战争期间，美英两国的物理学家、化学家与工程师，群策群力，共同合作，在制造原子弹方面和德国人展开了生死攸关的竞赛，并且在这一竞赛中取得了胜利。庞大而复杂的原子工厂在美国一个空旷地区建立起来，1945年投在日本的两颗原子弹结束了战争。留给各国政治家的工作便是控制核能的使用，以期使它为人类造福而不是造祸。我们面前摆着可怕的危险，也许核能的威力会使各国恐惧，从而迫使各国走上和平的道路。战争的消除当是科学的最大胜利。

同时原子研究的和平应用，已经为戴尔爵士等人所开始了。一个最显著的例子便是所谓“示踪元素”的使用。靠观测这类元素的性质，可以查明它们存在与运动的踪迹，其中最好的也许是某些放

射物质。现今已有数量多得多的同位素作为原子堆的副产物，供人使用，因此在近年内示踪元素的应用发展异常迅速。放射原子可以混合在有机物内，作为动物的饲料，这样食物在体内的运动，可以用盖格-弥勒计数器① 去追踪它。我们可以不夸大地说，放射性示踪元素为生物物理学与生物化学打开了一个完全新颖的领域，且给予医疗界一个新的诊断法。

还有，放射物质的大量生产已经使放射治疗变得更容易、更便宜了，例如用以毁灭癌性组织。

还可以把示踪剂混在肥料里，靠估计农作物内的放射性，来测量肥料在农业生产上的效果。总之，示踪元素用途之广，差不多可以说是无限的。

物理理论的新发展，通常总是使人们要找到描述现象的数学方程式，比从物理学上加以解释，要容易。例如海森堡与薛定谔的量子力学，通过解决简单的例子建立起普遍的数学公式，后来才提出一些物理学的解释，例如状态的叠加和测不准原理，也导致了 425 一种满意的非相对论的量子论。

要使量子论成为相对论性的，狄拉克也觉得解决数学方面的问题很容易，可是在解释上却有困难。他的解释最好用初始的与过渡的机遇来表示②。这样，物理学如往常一样，仍然停留在概率演算的领域。

爱丁顿在我们所期待的物理学的新综合方面，取得一些进展。由于他把物理常数，如质子与电子的质量以及它们的电荷等等的理论数值与观测的数值加以比较，而得到很显著的符合，他成功地

---

① 在盖格-弥勒计数器里，有一细丝沿一圆柱导体伸出。在丝与柱之间有1000伏特的电位差，使观测者得探查出一个电子的进入器内。

② Royal Society, Bakerian Lecture,1941.

把万有引力、电力和量子论联系起来[1]。关于现代物理学这方面的问题，可参看弗伦克尔(J.Frenkel)的一篇综合叙述[2]。

化 学[3]

化学变化的动力学，在现代是一个不断研究的主题。阿累利乌斯首先提出：在一定量的物质里，只有一定数目的分子参与化学变化，而且这数目是随温度而增加的。这一理论现在看来是可疑的。现在人们以为这些分子，是由于"碰撞"[4]，才变得运动迅速，从而起活化作用[5]，就是在单分子的反应中也是如此。

氨与硝酸盐是农业肥料所需要的，硝酸盐也是制造开矿用的炸药和军用炸药所必需的。有一个时期，大家害怕(特别是克鲁克斯)智利的硝酸盐矿用完后，化学肥料会变得不足，世界小麦的供应也会变得不足。我们看见只有在战争时期才发生过这个现象。在正常和平时期是没有这个现象的。植物育种者已经培养出小麦的变种，可以适应北方的寒冷区域，因而扩大了种植面积，化学家也用合成方法制出了氨与硝酸盐。

卡文迪什曾将电火花在空气里通过，而得到酸。一百年后挪威的伯克兰(Birkeland)与艾德 (Eyde) 把这一方法加以大规模的发展。奈恩斯特 (Nernst) 与约斯特 (Jost)，继后，哈伯 (Haber) 与勒·罗西诺尔(Le Rossignol)研究了氨、氮和氢在各种温度与压力下的平衡，并且利用各种催化剂的帮助，于1905年前后研究出一

---

① *Proc. Physical Society*, LIV, 1942, p. 491.

② *Nature*, Sept. 30 and Oct.7, 1944.

③ Alexander Findlay, *A Hundred Years of Chemistry*, London, 1937. A.J. Berry, *Modern Chemistry*, Cambridge, 1946.

④ C. N. Hinshelwood, *The Kinetics of Chemical Change in Gaseous Systems*.

⑤ F.A.Lindemann (Lord Cherwell), Faraday Soc.1922.

种实验室方法，从空气制成了氨，而且到1912年，哈伯的方法已经在工业和军事的用途上取得了成就。这是由于在1914—1918年的 426 战争期间受了德国需要硝酸盐的巨大刺激的缘故。这个方法就是使氮与氢在200或更高的大气压与500°C的温度下，在一种催化剂上面流动。再使氨与硫酸或硫酸钙起作用，而变成了硫酸氨，或将加热的氨和空气一道通过象铂绒那样的催化剂，使氨变成硝酸氨。

一百多年前开始研究的一些催化剂，现在对于化学的动力理论与许多化学工业，起了很重要的作用。催化剂很久以来就用于象哈伯法那样的反应中，近年来应用得更广。将氢气通过混有镍屑的热油液，油便氢化，而变成一种熔点较高更可口的脂肪。在高压下使氢气通过碳粉与煤焦油混合的热糊剂，并用一种适当的催化剂，可使其氢化。生成物经过蒸馏，便成为汽车用的轻油、中油和重油。催化剂用途的例子，多至难以一一列举①。

莫斯利的元素表中的缺空，现在已经差不多填满了。1925年，W.和I.诺达克(Nodack)使用X射线分析，发现了43和75号元素，而命名为锝与铼。1926年B.S.霍普金斯(Hopkins)宣布他发现了61号元素铟(Il即钷Pm)。这或许还没有得到完全的证实。周期表上的倒数第二个缺空——一个元素属碘类名砹(At)——于1940年由加利福尼亚大学的科森(Corson)、麦肯齐(Mackenzie)与西格雷(Segré)发现。他们在回旋加速器里，用α质点轰击铋而发现这个元素②。

卢瑟福-玻尔的原子理论，经过修改以后，使我们对于化学结构有了一个电子的概念。电子可以占据的轨道或能级，由主量子

---

① Rideal and Taylor, *Catalysis in Theory and Practice*, London, 1926. Carleton Ellis, *The Hydrogenation of Oils*, London (U.S.A.Pr.), 1931.

② 另一元素名钫(Fr)，于1939年为珀里(Perry)女士所发现。——译注

数 n = 1,2,3 等等规定,这也表示壳层里的电子的数目。这些能级上可以存在的最多的电子数是由下列级数(里德堡级数)给出:2×1^2, 2×2^2, 2×3^2 等,外层最多的电子数是 8 。一满了 8 这个数,便特别稳定;这种情况发生在除氦以外的一切惰气中;在 $n=1$ 时,氦有两个核外电子,而氢只有一个。到了钠,开始形成量子数为 3 的另一个新的电子壳层,到了氩而满额。氩的电子结构是 2,8,8。

427

这一理论给原子价的学说提供了物理学的根据。化合可以看做是电子从一个原子迁移到另一个原子去。原子价代表一个原子必须获得或放弃的电子数。这个原子必须获得或放弃这么多的电子,才能形成一个电子结构同最邻近的惰气一样的体系,或者说形成具有 8 个电子壳层的体系。化合也可以由于两原子共用一些电子而发生;这种原子价叫做共价。牛津的西奇威克(N.V.Sidgwick)对这一原子价理论阐释得特别详细。

如果两个原子的轨道共用两个电子,它们便是靠所谓共价键结合起来的。如果两个电子不是均等地共有,则一个原子具有多余的阳电,另一个具有多余的阴电。这个分子将具有极性,并且具有偶极矩,这等于一个电荷同两电荷之间的距离的乘积。这些极矩可以根据介电常数(电容率)或不均匀磁场里磁束的偏折度估算出来。雷德(Wrede)、德拜,还有西奇威克与包温,都对偶极矩进行过研究,以此作为探索化学结构的指针。单质分子如 H_2、O_2 没有偶极矩,因此是均等地共有电子,但是 HCl 有一极矩,为 1.03×10^{-18} 静电单位,原子间的距离是 1.28埃;其他化合物也是这样的。

波动力学在化学上也如在物理学上有其重要性,特别表现在共振原理上。共振的发生是由于一个分子由一电子结构跑到另一

电子结构中，并且表现出两者的某些性质。

原子发射出线状光谱，但从分子可以得到带状光谱，其分子的组态也可以测定出来。一束单色光经过透明物体时发生散射，由此而形成各种频率的辐射——散射介质的特征（斯梅卡耳-拉曼效应）。哈特利(W.N.Hartley)等人新近证明，结构相似的化合物在紫外区有相似的吸收光谱。他们还从分子结构的观点，研究了红外吸收光谱。

劳厄首先提出用X射线考察晶体结构，先后有弗里德里希与基平，布拉格父子(384页)加以研究。这种研究表明，氯化钠的立方晶体由钠离子组成。每个钠离子为六个氯离子所包围，相同地每个氯离子也为六个钠离子所包围。金刚石里每个碳原子都处在四面体的中心，而与角上的四个碳原子互相束缚。这种紧密的结构说明金刚石的硬性。用X射线对二苯基晶体的分析表明，它具有六个碳原子组成的环形结构，和凯库勒由苯与其衍生物的化学现象推断的一样。新近罗伯森(J.M.Robertson)等人将傅立叶级数的方法应用于萘与蒽[①]，以测定许多化合物组成原子的排列方向和化学键的性质。X射线也被用于考察合金、无机与有机化合物，都有成就。 428

对于晶体结构的分析，不但可以利用X射线进行，也可利用电子衍射进行，因为以上讲过，运动的电子挟带有波列，而可表现干涉现象等等。由电子衍射和X射线所得的结果是相合的。德拜使用X射线研究晶体粉末，后来发现用相似的方法，对液体与气体也

① 萘是由煤焦油中提得的芳香碳氢化合物，白色晶体。它的衍生物是合成染料、树脂、药物的中间体。蒽也是相似的碳氢化合物，淡蓝色荧光晶体，是合成蒽醌系染料的重要原料。——译注

可以得到干涉花样，并且可以测定原子之间的距离。1930年，维耳(Wierl)更使用了改进的方法。

凯库勒发现的苯的环形结构式以及范特-霍夫和勒·贝尔的碳原子结构成四面体的理论，成为立体化学的伟大结构的基础。如果承认碳原子的四个价电子作四面体的排列，则价电子键之间的角度将是109°28′。如果形成环状，由于正五角形的角为108°，一列五个碳原子，首尾两端必然互相接近，形成环状，键间很少应变，因而很稳定。W.H.珀金(Perkin)(子)制出了具有3、4、5和6个碳原子的环状的化合物，近年来，化学家，特别是索普(Thorpe)与英戈尔德(Ingold)等人[①]证明，从一个碳原子出来的两个价电子之间的天然角度，显著地受到所附的基团(如甲基团)的影响，因而应变可以减少，稳度可以增加。这种环结构出现在许多天然物里。如范特-霍夫所预测的，旋光性出现于不对称的分子，可是却没有不对称的碳原子。梅特兰(Maitland)和米尔斯(Mills)已经证明丙二烯型化合物的情况就是这样，它们的分子并不具有对称面[②]。化学这一分科的大发展是靠了X射线分析的应用，因为这种分析将原子和分子的结构，表现得异常明白。

429

建立在煤焦油基础上的化学工业，范围极其广阔。它从理论科学产生，而反转来对理论科学有很大的影响。翁韦多本(Unverdorben)与霍夫曼(Hofmann)从煤焦油分离出一种名叫苯胺(安尼林油)的物质。霍夫曼还证明煤焦油里有苯。W.H.珀金(父)于1856年用重铬酸钾处理硫酸苯胺，而得到紫色或紫红色的安尼林；这是首创的安尼林染料，以后发明了很多种这类染料。1878年，在

---

① Ingold, *J. Chem. Soc.* 1921.

② *Nature*, vol. CXXXV, 1935; vol. CXXXVII, 1936.

库珀(Couper)和凯库勒奠定的基础上,E.和O.费舍(Fischer)首先阐明了它们的化学结构。他们证明玫瑰苯胺(一品红)、洋红等的来源是碳氢化合物，三苯甲烷。这工作引出许多新染料和合成这种染料所必需的中间体。后来格里斯(Griess)制成具有偶氮基团(N:N)的偶氮化合物。这又导出一个新系的偶氮染料。

茜素染料,如土耳其红，于1868年合成，跟着而来的有蒽醌的其他衍生物。约在1897年,从苯基甘氨酸制出的工业蓝靛,开始将天然蓝靛逐出市场，使印度的种植者破产。

染料在工业上虽属重要，药物对于人们的福利更有贡献。有机药物的合成时代开始于解热药,如安替比林(1883),止痛剂非那西汀(1887)与水杨酸,即阿斯匹灵(1899)。这些药物的发现,创立了现代的化学治疗学派,主要的创始人当推欧立希(Paul Ehrlich, 1854—1915年)。他制成一种医治马病的药物与一种名叫盐酸二氨基联砷酚(即六〇六)的砷化合物，能杀灭在人体内造成梅毒的螺旋体菌(1912)。尿素的一种复杂衍生物,于1924年为富尔诺(Fourneau)所制成，能消灭造成昏睡病的寄生虫。以后几年，一系列以氨苯磺胺和磺胺吡啶等磺胺类药物为基础的合成药，由梅(May)与贝克(Baker)合成，叫做M. B. 693，对于控制伤害人畜引起很多疾病的链球菌和肺炎球菌都很有效[①]，而磺胺胍成了痢疾的特效药。

起初这些药物并无理论的基础,到1940年菲尔兹(Fildes)、伍兹(Woods)与塞尔比(Selbie)才证明,磺胺类药物的作用在于阻止病原菌获得它们生长所必需的另一种同族物质，名叫对氨基苯甲酸。这个成就表明进一步探讨的方向应当是研究细菌的代谢，寻 430

① *Reports of Medical Research Council*, 1930—40; *J.R.Agric.Soc.* 1940.

找细菌所需要的物质，并找出防止细菌利用它们的方法[①]。

青霉素最初是由弗莱明（A.Fleming）爵士在1929年从笔毫霉制出并命名的，后经牛津的弗洛里（Florey）等人加以研究，并证明比磺胺类药物更有效[②]。

在帝国化学工业的曼彻斯特实验室里，于1945年发现一种抗疟疾的特效药名“白乐君”（paludrine）。杀虫药也经人研究，一种能杀昆虫而于人畜无害，名叫六氯化苯（即六六六）的杀虫药制备成功了。

维生素的最新研究成果要在生物化学栏内作总的叙述，但关于维生素的结构与合成的叙述，很自然地要放在化学栏里来。维生素A是生长必需物，其成分为$C_{20}H_{30}O$，卡勒（Karrer）提出了一个结构式，说明它的化学反应及其与它的前身胡萝卜色素的关系。维生素B_1，有抗神经炎的功能，为哥伦比亚大学的威廉斯（Williams）所合成。抗坏血病的维生素C，存在于绿色菜蔬与柑属水果里，其结构式比较简单，表示如图18。这种维生素先经人提取，后于1933年为伯明翰的霍沃思（Haworth）合成，现在称为抗坏血酸。

```
        CH2OH
          |
    HO · C · H
          |
         HC <  O  > CO
              C = C
              |   |
             OH  OH
```

图 18

以上讲过，有机化学的基础在于碳原子具有互相结合为复杂结构的能力。大致类似的能力也为硅所具有，近年来也变得很重

①② *Britain To-day*, vol. LXXIX, 1942, p. 15.

要。

1872年，冯·拜尔(Von Baeyer)发现酚(石炭酸)与甲醛化合成为一种树脂物。1908年，贝克兰(Baekeland)发现这种树脂在碱性的催化剂内加热，变成一种有塑性的物质。这叫做“电木”，在以甲醛为基本材料的反应中还取得了其他塑料物。它们可以用作漆料、釉料，并可用来制造留声机唱片、飞机骨架等。 431

橡胶于1892年由蒂尔登(Tilden)用异甲基丁二烯合成。1910年，马修斯(Matthews)发现金属钠可以促进异甲基丁二烯的聚合化，但现今异甲基丁二烯已经由碳氢化合物，丁二烯或氯丁二烯取代了。这些合成物常加在天然产品内。

合成有机化学家对照相术作出了很多的贡献。起初，他们制成了显影剂(焦性没食子酸等)，继后制成一些染料，这些染料使胶卷对光谱可见区与不可见区的不同的光线都具有感光作用。由于制出对于红外光具有感光作用的照相乳胶，几哩以外的对象，也可摄得清晰的形象，这用普通底片是办不到的。照相术对于许多学科，自天文学以至微生物学都很有帮助。

费舍对于单醣的基础研究工作(253页)，为许多人所继续，他提出一个敞开的链形结构式，不过，人们现在公认的是霍沃思所提出的六成分型环形结构式。伊尔文(Irvine)与霍沃思和美国的赫德森(Hudson)使用甲醚研究象蔗糖那样的双糖[1]。开始了氨基酸的现代研究的也是费舍。但迄今为止用合成方法制出的结构最复杂的多肽类合成物，虽然分子量超过1300，还是离蛋白质很远。蛋白质可以分为两类，其分子量分别为35,000与400,000的简单倍数。现在虽然通过动物纤维的X射线研究，得到了蛋白质分子结构

[1] Irvine, *Chem. Rev.*1927; Haworth, *B. A. Report*, 1935.

的形象，但仍有相当距离，人们还不能合成蛋白质[1]。

现代的物理与化学仪器，比五十年前的复杂得多了。个人很少能够建立起一个实验室。业余爱好者虽然在过去对于科学作出了不少的贡献，但他们的时代似乎过去了。现在大多数文明国家的政府都资助研究工作。英国将补助费送给各大学和皇家学会去进行基础研究工作，至于工艺的研究则交给科学与工业研究部、医学研究理事会或农业研究理事会去掌管。

① Vickery and Osborne, *Physiol. Rev.* 1928; Astbury, *Trans. Faraday Soc.* 1933.

第十一章　恒星宇宙

太阳系-恒星-双星-变星-银河系-星的本性-星的演化-相对论与宇宙-天体物理学近况-地质学　432

太阳系①

上面说过，刻卜勒关于太阳和行星的观测，已经提供了太阳系的模型，但是在其中一个行星的距离还没有用地上的单位测定以前，这个模型的比例尺度是不知道的。里希尔在1672—3年间进行了这种测定工作(见150页)，而且在若干方面还具有现代精确性：(1)1728年，布莱德雷发现了远星的“光行差”（当地球从一方横过这星光的行径，半年后又从反对方横过时，观测者两次所看见的星光方向的差异)。当时这一发现被用来证明光以有限速度进行，但因光速现已有他法测定，光行差反过来可用以测量地球的速度与其轨道的大小了。(2)当金星经过地球与太阳之间时，由地球上两个站所测定的时刻，也可用来以三角学的解法，计算太阳的距离。(3)当小行星(爱神星)于1900年经过地球附近时，曾以三角测量法测定其距离。

以上三个方法所求得的太阳系的大小，是一致的：从地球到太阳的距离是9280万(后改为9300万)英里，相当于光以每秒186,000

① F. J. M. Stratton, *Astronomical Physics*, London, 1925. Sir J. H. Jeans, *Astronomy and Cosmogony*, Cambridge, 1928. A. S. Eddington, *Stars and Atoms*, Oxford, 1927. T. C. Chamberlin, *The Two Solar Families*, Chicago, 1928.

英里的速度行8.3分钟的距离。太阳的直径为865,000英里，其质量为地球的332,000倍，其平均密度为每立方厘米1.4克，而地球的平均密度为5.5克。

我们关于太阳系的知识，在1930年由于汤姆保(Tombaugh)在海王星轨道以外发现了一颗新行星而扩大了。美国亚利桑那州旗杆天文台对天空某些可能发现行星的区域，作了缜密的搜索，方法是将几天时间内所拍的两张照片加以比较，照片上如果有一个光点改位，就说明那是一颗行星。这颗新行星围绕太阳运行一周需248年，其平均距离是36亿7500万英里。这颗行星命名为冥王星。冥王星轨道的直径为73亿5000万英里，可以看做是现今(1946年)所知的太阳系的范围。

433

人们时常讨论别的星球是否有生物居住，对于太阳系而言，这问题便成了别的行星上的情况如何①。这些情况中最重要的一个是行星外围的大气的性质。大气的存在依靠"脱离速度"，——即气体分子运动时足以使其脱离行星引力的羁绊的速度。这速度的数值为$V^2=2GM/a$，式内G表引力常数，M表行星的质量，a表其半径。以每秒英里计，对于地球，$V=7.1$，对于太阳为392，另一极端，对于月球为1.5。运动最快的分子是氢分子，在0°C为每秒1.15英里。根据秦斯的计算：如果脱离速度为分子的平均速度的4倍，在5万年内大气便完全逃逸，如果为5倍，则逃逸率便小到不足计较。因此月球上没有大气，大的行星，如木星、土星、天王星与海王星，比较地球有更多的大气，火星与金星上的大气可以和地球上的相比拟。金星上多二氧化碳；但显然没有氧气与植物；那里的条件尚不能使生物存在，而火星上呢，生物存在的机会似已过去，或

① H. Spencer Jones, *Life on Other Worlds*, London, 1940.

将近过去。

恒　星

冥王星轨道以外，是一片洪渺无边的空间。当地球在六个月内由轨道的一边行至它一边时，凭借缜密地观测可以察知最近的恒星在较远的恒星所形成的背景上改位。再过六个月恒星的位置复回到原处；如果把这些星本身的微小运动略而不计的话。由于我们已经知道地球轨道的直径，只要把恒星本身的微小运动和光行差估计在内，根据一颗星在六个月内的视差，用三角测量法，便可推求恒星的距离。

1832年，韩德逊在好望角对恒星视差进行了观测，接着在1838年，便有贝塞耳(Bessel)和斯特鲁维(Struve)进行了精密的测定。用这样的方法发现，最近的星，一个微弱的小光点，叫做半人马座比邻星，距离我们达24万亿(2.4×10^{13})英里(光须走4.1年)，约为冥王星轨道的直径的三千倍。明亮的天狼星的距离为5×10^{13}英里，或8.6光年。约有两千颗恒星的距离，已用这个方法测定到相当高的精确度，但这个方法现今只可应用于十个光年以内的恒星。 434

晴明的夜里，人眼所见的恒星可达数千。如果使用口径愈来愈大的望远镜，则可见的星愈多，数目的增加并不与望远镜的口径成正比例，因此我们可以说：恒星的数目不是无穷多的。美国威尔逊山天文台的100吋反射望远镜，在1928年是世界上最大的望远镜，能够观测到的星数估计约为一万万颗，而在我们的星系(银河系)里，恒星的数目，据不同的估计约为15万万颗至300万万颗不等。200吋反射望远镜现在正在制造中①。

① 这座大望远镜已于1948年完工，能拍照到微弱到23等的恒星与星云，估计数目达千万万颗之多。——译注

希帕克过去依照星的亮度，将星分为六个“星等”，而现今已将这尺度扩充到包括20等以外的微弱星，其亮度只有一等星的万万分之一。这种量度的方法，自然是依据地球上所看见的恒星的视亮度为标准。对于一颗已知其距离的星，我们可以计算它移至某一标准距离时应有的视星等，这种星等叫做绝对星等。

如果按绝对星等分类，则在所有星等的数值中都有星的存在，但如赫兹普龙(Hertzsprung)所指出，而后来为罗素(H.N.Russell)所证实的：高星等与低星等的星的数目，比较中星等的星多。前两者叫做“巨星”和“矮星”。以后还要详细谈到。

同一光谱型而距离已知的恒星证明，绝对星等和某些谱线的相对强度之间具有有规则的联系。因此仔细研究这些有决定性的谱线，可以求得未知距离的星的绝对星等，然后再根据其视星等以估计其距离，即使这距离远到不能以视差的方法来测量。这是估计恒星距离所用的几个间接方法之一。

双　星

许多星用肉眼看似乎是单颗，用望远镜看，乃是成对的。有些成对的双星，可能互相离得很远，所以看来很接近的原因，是由于它们几乎在同一视线上。然而双星的数目很大，用恰巧在同一视线上的说法，不足以解释全部双星。在大多数情况下，双星中的两星之间，一定有某种关系。威廉·赫舍耳于1782年开始观测双星，到1793年，他已经找出足够多的双星的行径，可以证明双星围绕着位置在椭圆形一个焦点上的公共重心，而运行在椭圆轨道上。因而他证明，双星的运动也遵循牛顿在太阳系里所寻得的引力定律。

435

由距离和轨道都已测定的一些双星，可以算得它们的质量，一

般是太阳的一半至三倍。这与由其他方法所得的结果颇为吻合。各类星质量上的差别并不很大，而其大小与密度却有 极 大 的 差别。

有些双星的两个成员相距太近，以至不能用望远镜分开，但可用分光的方法去分辨它们。如果我们的视线恰在双星的轨道平面上，当双星的联线垂直于视线之时，则一星向我们而来，他星背我们而去。于是按照多普勒原理，一星的光谱的谱线将向蓝端移动，而他星的谱线则向红端移动，因而在双星光谱中，其谱线的数目必至加倍。但当两星的位置一前一后时，它们便在横过我们的视线方向运动，因而其光谱里便无谱线加倍的现象。靠观测这种光谱上的变化，我们可以估计其绕转的周期与速度，并可计算两星的质量之比值。如果目视与分光两种测量均属可能，则两星的质量都可以求得。

1889年，皮克林 (E. C. Pickering) 首先以分光的方法发现一对双星。他宣布大熊座ζ星光谱中有些谱线加倍，表示这颗星是周期为104日的双星。自此以后成百的“分光双星”被人发现，主要是在美国和加拿大的天文工作者用了大望远镜与摄谱仪，而且在清朗空气中工作所发现的。

变 星

许多恒星的光常改变其强度。如果变化是不规则的，这或者是由于炽热气体的屡次爆发，但光变的周期，在许多例子中，是颇有规律，因此，可以推断，光变的原因或者是由于当一颗亮星与其暗的伴星互相环绕运动时，亮星的光的一部或全部，于一定时间为暗星所遮蔽，而形成亮星的星食。这个解释有时可从光谱得着证实，因为当亮星在向着或离开地球运行时，其谱线发生周期性的移动。

436 根据亮度随时间变化的曲线，再加上谱线的测量，常可以对某些双星系有很完全的了解。例如大陵变星与天琴座β星就是这样。

双星的数目很大，还有更为复杂的体系——聚星，也可以用相同的方法，加以识别和研究。例如我们熟悉的"北极星"，由分光测量，知其含有每4日互相绕转一周的两星，还有一个以12年为周期的第三星，以及一个以大约两万年为周期的第四星。

更有其他变星如仙王座δ星(造父变星)，不能用星食说去作解释。它们每隔几小时或数日迸发出比它们的最小亮度强若干倍的光辉。这种造父变星中的短周期的一类，表明其光变周期与其光度或绝对星等有一定的关系，这关系是1912年哈佛大学勒维特(Leavitt)女士所发现的。这个发现的价值立刻为赫兹普龙及那时在威尔逊山天文台工作的夏普勒(Shapley)所认识。这现象很有规则，可用以测量距离未知而据与此同类型的星的光变周期，去估计其绝对星等；再观测这颗星的视星等，便可计算其距离。这是测定距离太远、不能表现视差之星的又一方法。

银河系

天空恒星最多的区域是在一个宽度不定的带上，这带叫做银河，围绕天穹成一巨环。有些地方星数太多，以致成为"恒星云"，须有优良的望远镜，始能鉴别其中的个别恒星。掺杂其间的还有不规则而且不能加以分析的"星云"。在恒星聚成一带的中间，剖分银河的大平面，叫做银道面。这可看做是恒星系的一个对称平面。恒星似向这平面丛聚，特别是较热的星与较暗的、因而一般是较远的星。

这表示我们的恒星系附于银道面，而成扁平的形态，好象形成

一个大透镜状的恒星集合体。我们在这集合体之内，而不居于其中心。我们所看到的银河里的星所以比较多，主要是由于我们望银河时是朝着透镜的边沿去看，而在这方向恒星散布空间的厚度比别处大得多。

除恒星云与不规则的星云之外，还有恒星的球状集团，约100个，这些"球状星团"以银河中段外边不远的地方为最多。其中包含造父变星。夏普勒根据它们的光变周期和借助其他间接方法，算出这些星团距离我们约2万至20万光年。 437

由此得知，我们的恒星系有一最长的直径，至少长达30万光年。我们的太阳，离开整个星系的中心约6万光年，而在中央平面偏北处。多年观测恒星的视运动的结果表明，太阳是以每秒13英里的速度，朝着武仙座的方向运动，如果以这运动的方向作为参照线，则有两个主要的星流经过空间。

天空中最惊人的东西，是那些巨大的旋涡星云。它们很可能是正在形成中的星系或者说银河系，关于这一观点的论证，以后还要谈到。这些星云的范围非常庞大，虽为稀薄气体所组成，但一个星云就含有足以形成十万万个太阳的物质。它们的数目很多：加利福尼亚威尔逊山天文台的哈布耳(Hubble)博士估计，在该台的100英寸望远镜中，可以见到的约有两百万个。它们中有些距离很远，估计在50万至14000万光年，很可能在我们的星系之外。宇宙空间里似含有很多恒星聚集的银河系，即夏普勒所称的"岛宇宙"，我们的星系不过是其中之一而已。

1904年，荷兰格罗宁根的卡普登(Kapteyn of Groningen)，在研究恒星统计时，发现我们的星系里有两个在多少不同的方向上运动的主要星流。现今，这两个星流应当和莱登的奥尔特(Oort of Leyden)的另一发现联起来讨论：这是银河系整个的自转，它围

绕距离我们一万秒差距① 在人马星座的方向上的一个中心旋转，自转的速度，按照引力定律，向外减少。在我们的区域轨道速度约为每秒250公里，转一周约需二亿五千万(2.5×10^8) 年。整个银河系的质量约为1500万万 (1.5×10^{11}) 个太阳，如果每颗恒星的平均质量等于太阳的质量，银河系所含的恒星大约也是这个数字，约为外推法计算的数字的十倍。

星的本性

438

赛奇(Secchi) 神父约于1867年在罗马提出一个按恒星的光谱分类的方法，哈佛天文台又加以很大的改进与扩充。星的颜色在肉眼看去已有差别。由于照相对于光谱紫色的一端比较灵敏，以照相法求得的星等，与肉眼估计的并不相同，其间的差异成为星色的一种量度方法。这些差异也表现在各种恒星的光谱里。在这些恒星的光谱里可以寻找出一系列的谱线，不知不觉地逐渐过渡，而表现出各类恒星的特性，哈佛大学以 O, B, A, F, G, K, M, N, R 去区别它们，这序列里前面的是比较蓝色的星。

O 型星的光谱，在暗的连续背景上，出现若干明线。在有些光谱里，氢与氦的谱线很强。B 型星的光谱呈现暗线，氦线十分显著。A 型光谱中有氢谱线、还有钙和其他金属谱线，在 F 型光谱中，后面这些谱线加强。G 型星包括太阳，呈黄色，其光谱在明亮背景上呈现暗线。碳氢化合物的谱线第一次出现于 K 型星中。M 型星呈现宽的吸收谱带，特别是氧化钛的谱带。N 型星呈红色，其光谱有一氧化碳和氰(CN)的宽谱带。R 型星虽不如 N 型那样红，但也有 N 型里的那些吸收谱带。

① 秒差距是相当于视差为 1 角秒的距离，等于3.26光年或 2×10^{13}英里。

这种关于光谱的观察，被用来估计各型恒星的有效温度。如果将一个黑体(它可以看做完全的辐射体)渐渐增高温度，则其辐射的特性与强度也逐渐改变。就每一温度而言，辐射能量与波长有一特殊的曲线关系，在某一特定波长上达到最大值。随着温度增高，这一最大值的位置向光谱的蓝端移动，因而可以说明温度。人们还用几种方法对能量的分布加以研究，例如采用照相法及研究辐射特性的变更等方法。不但如此，温度和电离对于光谱的影响，还可以在我们所能控制的范围内，在实验室里加以研究。萨哈(Saha)在1920年、福勒(R.H.Fowler)和米尔恩(E.A.Milne)在1923年都曾经利用恒星光谱中若干吸收谱线的形态，来估计起吸收作用的原子的温度。

各种估计恒星温度的方法所得的结果，颇能互相吻合。刚可看见的星大约是1650度，已知最热的星达23000度。这些当然是辐射表皮层的温度。星的内部必然较外层为热，其温度可达几千万度。

上面讨论绝对星等时，我们说过，大多数的恒星分为“巨星”和“矮星”两大类，前者光度比较后者大得多，可是也有一些中等光度的星。但可以注意之点是：这一分类只有对于K型星以下较冷的星(温度不超过4000度)才显著。对于较热的星，分类便不显著，及至B型星就完全混淆莫辨了。这些恒星都是巨星，其光度都是太阳的40至1600倍。 439

这些事实被人认为指明了一个确定的结论：即所有的恒星都经过一个大体相同的演化过程。每颗恒星最初是一较冷的物体，嗣后温度渐渐增高，而达到最高温度(视其大小而定)，然后再渐趋冷却，温度渐次下降，经历一个相反的过程。

当恒星温度升高时，它发出大量的光，这意味着它的体积很

大，因而归类为“巨星”。但当其冷却时，它的大气在温度方面经历一个与以前相反的过程，在冷却时所经过的光谱型，虽然在细节上略有差异，但大体上与温度升高时期所经过的相同。然而这颗星现在的绝对星等，换言之即其光度，却比较以前小得多了。既然这时温度与以前上升时期相同，这一事实就表示这颗星的体积较前为小，遂成为“矮星”了。

这是罗素所阐述的恒星演化过程，与勒恩和利特尔（Ritter）所阐明的互相吸引的气体团的动力学相符合。如果这团气的质量够大，则重力必定使它收缩。它将放出热量而变热。但当其收缩时，其收缩的速率必逐渐减少。到了某一临界密度时，这一庞大的炽热气团所生的热量，将小于其所辐射的热量，于是这团物质开始冷却。我们在讨论太阳的年龄时说过，这过程不能解释其所放出的全部热量，那时已经认为或有他种能量的来源（如原子的蜕变）取决于温度，并经过一种相似的过程。

这个恒星演化的理论，已经根据最近的研究加以修正，而将原子结构的新知识应用于天体物理学。人类靠了他处在原子与恒星中间的有利位置①，可以利用由一方所得的知识，作为研究另一方的参考。

已知太阳或任何一颗星的大小与平均密度，并假定其整体都是气体，就可以计算其表面下压力随深度而增加的变率，爱丁顿便做了这个计算。对于气体的恒星，爱丁顿发现光度主要随质量而变化，在某些限度内，光度粗略地与质量成正比例。在恒星里任一层，其上面的压力，为下面气体的弹力和辐射的压力所支撑。据分子运

440

① 如爱丁顿所指出的：建造人身约需原子10^{27}个，而建造一个恒星所需的原子数，平均约为前者的10^{28}倍。

动论，气体的弹性，是由于气体分子的碰撞造成的，而气体分子的速度随温度而变化。要支持太阳或其类似的恒星内部的巨大压力，则其温度当达四千万度至五千万度的数量级。如有一星比这个大得多，据爱丁顿推算，其内部的辐射压必至过大，致使它变成不稳定，而趋于爆裂。这样，星的大小有一自然的上限。

恒星内部的一个区域，甚至一大区域，实际是一个恒温的包壳，其总辐射按绝对温度的四乘方而改变。当温度增高时，在光谱上能量最大的辐射，按已知定律，逐渐变为波长较短的波。当温度高达数百万度时，则其最大能量便远远超过可见光谱的波段，而至X射线或波长更短的辐射区域，但这些辐射，在其行至恒星外层的途程中，不断地受到原子的碰撞与作用，因而变成波长较长的辐射，最后仍以光和热的形式发出。但有一引人注意的事实：即富有极大穿透力的射线（即“宇宙线”），已经为麦克伦南(McLennan)、米利根、科赫斯特等人所发现，这些射线，虽然份量很小，好象经过我们的大气，而来自空间。秦斯说：“在某一意义上，这种辐射是整个宇宙里最基本的物理现象，空间的大部区域含这种辐射远较可见光和热为多。我们的身体日夜被它穿过，…… 它破坏我们体内的原子每秒达数百万个。这可能是生命的要素，也可能在杀害我们”①。有人说这种富穿透力的辐射是质子和电子互相湮灭时，或者氢聚合为重原子时所发出的，地点可能是在星云或空间里极度稀薄的物质里，因为由那里所射出的能量无须费力就可以穿过覆在恒星外部的物质。 441

我们知道X射线和穿透性更大的γ射线是极有效的电离剂。

① Sir J. H. Jeans, *Eos or the Wider Aspects of Cosmogony*, London, 1928, p. 46; also *The Universe Around Us*, New York and Cambridge, 1929, p. 134, also 1944.

所以星内的原子当是高度电离的，即其外部电子都被剥夺了的；这个概念于1917年为秦斯所倡导，以后更为许多人研究。一个普通原子所占有的体积，即别的原子不能贯穿的体积，就是这些外部电子的轨道所占有的体积。如其外部电子遭到剥夺，则这原子的有效体积必大为减小，实际成为原子核与其最近电子环(其轨道较外部电子的轨道小得多)的体积。结果，恒星内部的原子既然小得多，则其相互干扰也必远较我们实验室的为小；因而恒星物质虽在高密度下，其性质也象“理想气体”，而遵守波义耳定律。

假设恒星是气体的，则我们可以数学计算一颗星的质量与其所发的光和热之量的关系，换言之，即可知其光度为何。1924年，爱丁顿算得星的质量愈大则其辐射也愈大。他求得一个理论的关系，而且在把一个数字因子调整以后，使这个关系确与事实符合。就是对于某些恒星，这个公式也是适用的。因其密度很大，在1924年以前人们还认为它们是液体或固体的，而且以为这一理论不适用于它们。但爱丁顿认为，较水重的太阳，以及较铁重的其他恒星，实际上都是气体；因其电子已被剥夺，所以这些恒星的原子体积较小，在大部时间内，彼此不相接近。

而且一个新发现使密度的可能范围更加扩大了。1844年，贝塞耳发现天空最亮的天狼星运行在椭圆轨道上，于是他假设有一伴星围绕天狼星运行，其质量约为太阳的 4/5。十八年后，这颗星为克拉克(Alvan Clark)所发现；用现代望远镜不难看见这颗星，其所发的光约为太阳的1/360。当时曾认为这颗星是红热的、一个行将没落的星。亚当斯在威尔逊山查得这颗星并非红热而是白热的。其所发的总光量很小，是由于其体积很小；它不比地球大很多。从这个大的质量与小的体积，得知其密度约为每立方英寸一吨，这是一个骇人听闻的结果，在当时认为是不可信的。

但是不久新的证据出现了。根据爱因斯坦的理论，物体发出辐射的频率，应随其质量和体积而不同；因此谱线应按半径除质量的比例向红端移动。亚当斯测量了天狼伴星的光谱，也得着相同的高密度，约为铂的密度的两千倍。现在更发现另外几颗星，密度与此相似或更大。秦斯认为这些星中的物质不再是气体，而与液体相近了。其原子很可能只余下原子核，甚至其最内层的电子也被剥夺。比较正常的星，如天狼星与太阳，可能为核外剩有一层电子的原子所组成。所以根据原子结构的理论，我们就可以解释这一事实：恒星分为明显的几类，而且每一类仅包括某些体积限度内的恒星。在那样高的温度下，地上的原子将会完全破裂。要维持这些不同的体积，恒星内部未知的深度的原子必较我们熟悉的地球上的原子为重，而类似地球上的原子的较轻的原子，必浮在表面，而成为辐射的表层。

有三个方法可以估计恒星的年龄：（1）双星的轨道最初应为圆形，以后受到过路星的引力的影响，而逐渐变形，这种影响的可能频率可以计算，因而由轨道的实际形状，可以计算恒星的可能年龄。（2）明亮的星所组成的星团在空间运动时，逐渐失掉其小的成员，造成这些观察到的分散情况所必需的时间，是可以计算的。（3）恒星的运动能量，也如气体分子一样，必定有达到平均分配的趋势；西尔斯（Seares）测得太阳附近的恒星差不多已经达到这个阶段。由分子运动论，可以计算产生这种动能平均分配状况所需的时间。这三种方法都一致表明，我们的星系中恒星的平均年龄可能是5万亿至10万亿（5至10×10^{12}）年。

要维持这样长久的生命，必需大量辐射能量的供给，数量之巨，远非引力的收缩，或放射性物质所能解释的。爱因斯坦的理论很自然地引导人们形成一个观念：这种能量的来源可能是由于阳

性质子与阴性电子的相互湮灭，这是1904年秦斯用来解释放射物的能量的说法①。这理论已经详细地完成。可以肯定，恒星在不443断损失质量。辐射造成定量的压力，因而具有一个可以计算的动量，即质量与速度的乘积。太阳表面每平方英寸辐射出50马力，这说明整个太阳每天损失质量3600万万吨，而质子与电子的相互湮灭可说明这种损失发生的机制。太阳在其体积更大、年龄更轻时，其质量的损失必当更速，于是我们可以给与太阳年龄以一个上限，大约是8万亿(8×10^{12})年。这与其他方法所估计的恒星年龄相符合，但根据以后的研究来看又是可怀疑的。

星的演化

恒星的年龄既经估定，我们自然会问恒星是怎样产生的?即使在最大的望远镜中，恒星也无可见的体积——最近的恒星也是太远了。但是天空明亮的一片一片区域，所谓星云，早已为人发现。仙女座中的大星云，能被肉眼看见，在望远镜发明以前即已发现。而猎户座内的另一星云，也于1656年为惠更斯所发现。

星云有三大类:

(1)形状不规则的星云，如猎户座内的。

(2)行星状星云，形状有规则的较小的结构。

(3)旋涡星云，象似明亮的大旋涡。

数目最多的星云是旋涡状的。我们已经说过，现代望远镜中可见的星云，约有二百万个。它们的光谱是连续的，而重合有吸收谱线，与 F 至 K 型的星(包括太阳在内)的光谱相似。有些星云是弥漫的炽热气体团，有些含有定形的恒星。星云呈现有急速转动的

① *Nature*, vol. LXX, 1904, p. 101.

模样。自轨道平面的边上平视所见的星云，可以在光谱学上进行研究，另外一些与我们视线正交的，可在逐年的照片上看出其有可测量的转动，每转一周约需几百万年。这好象说明其运动的迂缓，但是我们观测到它们有很高的线速度，所以其转动周期的悠长，不是由于其运动的迂缓，而表现其体积的庞大。

如果假设不同的星云的转动速度大略相同，则由以上所述，自轨道平面边上平视所见的星云，可以由光谱学测得其线速度，而横过我们视线的星云，也可以测得其每年的角速度，这样比较这两种速度，便可得其距离的一个估计值了。旋涡星云的旋臂中可以看出有造父变星，其光变的周期可假设与其绝对亮度有通常的关系，因而测量它们的视亮度，又可得距离的另外一种估计值了。由此所得的数字，约在几十万至几万万光年。因而大多数旋涡星云都 444 很远，而在我们的星系以外。

恒星演化的星云学说，最初为康德所提出，继于18世纪末为拉普拉斯引用，去解释太阳系的起源。拉普拉斯根据气体星云的概念，认为星云充满海王星轨道里边的空间，而且具有旋转运动。它因其自身的引力而收缩。但因其角动量不变，故其旋转速度渐增。在其收缩的各阶段中，它遗留下环形的物质，经凝结而形成行星与其卫星，绕中心的物质转动，这中心的物质即形成太阳。

这个学说有若干困难。1900 年，莫尔顿 (F. R. Moulton) 指出，由环形不会破裂变成球形。张伯林(T. C. Chamberlin)并证明在那样大的气体团中，其引力并不足以克服其分子速度的扩散效应与辐射压而使其缩小。秦斯以别的论据证明行星是不能由凝结而形成的。

但是旋涡星云比拉普拉斯所想象的大过百万倍，在这规模下，其整个的发展过程也大不相同。这时引力远比气体压力和辐射压

更为有效，星云不但不扩散，而且收缩，并且旋转得比拉普拉斯所想象的还快。这个解释，应用于小规模的太阳系遭到失败，应用在庞大的星系上，却颇有成功。

秦斯已经以数学证明：一个具有引力的气体团，或因其他物质团的潮汐作用而开始转动，则将渐渐形成一双凸透镜的形状。若其旋转加快，则其边缘将不稳定，而裂成两个旋臂。旋臂上发生局部的凝结，每个凝块具有适当体积，可以在我们所见的恒星的大小的狭小限度内形成恒星。这个由理论得出的预言已为哈布耳所证实。哈布耳根据观察的结果，将星云分为秦斯所预言的类型。于是我们在旋涡星云里，发现在我们星系以外在遥远空间里正在形成中的其他星系。

旋涡星云臂上的一小滴，是不是变成我们这样的太阳系呢？根据秦斯的数学推证，这不是一定可能的。如果这小滴的转动足够迅速，而至酿成分裂，则分裂的结果可能是互相绕转的双星。所以445 双星很可能是恒星演化的一个正常规程，其另一过程，则是孤独的单颗星。

但莫尔顿、张伯林与秦斯对太阳系的起源提出一些猜测性的说明。如果在某一早期阶段，两个气体星运行到彼此邻近时，则将发生潮汐波。及至两星接近到某一临界距离时，这潮汐波即将射出长臂状的物质，然后再裂成具有适当大小与特性的物体，而形成地球与其他行星。但这一事件发生的可能性很小，据秦斯计算，伴随象我们的行星系的恒星，大约在十万个恒星中才有一个。

恒星演化的新学说，可以概括叙述如下：恒星是旋涡星云的旋臂中所飞出的大小相近似的气体团。它们发放辐射，其质量因而减少。又因其体积较大的发出辐射的速度较快，所以它们的质量

逐渐趋于相等。

无论其温度与压力为何,最年轻的星最重,而辐射也最多。如果它们全由象地上的原子所组成,则温度与压力增高时,辐射也当随之而增加,情况就与上面所说的不相同了。这一证据又表示辐射能量大部来自我们所未知的几种类型的极端活跃的物质。这些物质当星衰老时即归于消逝,很可能是由于原子的嬗变,使物质湮灭并转化为电磁辐射。这样释放的能量是很大的,照相对论一节中所说:质量 m 可以转化 mc^2 的能量,这里 c 为光速,每秒3×10^{10}厘米,所以,一克质量的物质转化为辐射后,其能量等于 9×10^{20} 尔格。由于物质湮灭或即便是适宜的嬗变,所释放出来的能量是很大的(见451页)。

天体物理学上的这一个新理论,使人想到牛顿《光学》书中的质疑第30所说的:"庞大物体和光不是可以互相变化的吗?物变为光与光变为物,是同似乎乐于变化的自然程序十分符合的。"

恒星可能正在化为辐射,宇宙间物质的命运不是直接化为空间的辐射,就是变成具惰性而不活动的东西,如构成我们世界的主要物质。地上的物质含有92个元素,自原子序数为1的氢,至原子序数为92的铀。如果还有别的元素存在,它们不是同位素,便是有更高的原子序数,其结构必较铀更为复杂。现在至少已经发现一个名叫钚①。它们必然富有强烈的放射性,所以不会稳定,因而大多数可能早已失其存在了。从前以为光谱的证据说明物质的演化由简单而趋于复杂,自老年星中的氢,而趋于青年星中的钙。可是今天对于这事实的解释大不相同。人们认为这只表明,各种恒星 446

① 周期表中原子序数大于92(即铀)的元素叫做"超铀元素",是由人工方法产生的放射性元素。钚(Pu)即是其中的一种。——译注

中的情况，有利于氢或钙在其大气之中与其上辐射的放出。有些天文学家以为在恒星的演化中便伴有复杂原子的分裂，其中大部直接化为辐射，小部变为不活泼的灰分；这些灰分虽是宇宙变化的副产品，但却是组成我们身体和我们世界的物质。铀与镭或者是介于留在地上的这些活泼原始原子的最后残迹，与构成我们的不活泼元素两者中间的物质。

只有与我们所处的情况很相近的星球好象才有生命的可能。行星系可能是稀有的，我们的行星似乎不可能维持“别的世界上的生命”。

凯尔文的能量散逸原理指明了事物的最后的状态，在这种状态中，物质与能量都作均匀分布，而不再有运动的可能。现代理论虽然把其过程加以修改，但也得到相似的结论。宇宙所趋向的最后情况，乃是从活泼的恒星原子化作空间的辐射，与变成将熄的太阳中或凝冻的地球中的惰性物质而已。即令宇宙中物质全部毁灭，所产生的辐射也仅能使空间的温度增高几度罢了。秦斯算得：只有当温度增高到7.5×10^{12}度时，空间方能为辐射与再度沉淀的物质所饱和。活动物质的原子遗存的概率和辐射浓聚于一处，使物质再度沉淀的概率，都非常渺小。不管我们等候这机会的来临需要等候怎样久的时日，永恒总是更久的。霍尔丹(J.B.S. Haldane)曾经提出一种看法〔据爱丁顿告诉我，汉堡的施特尔内(Sterne)教授在谈话中也曾提出过这种看法〕，认为这种巧合的浓聚情形很可能在现有的宇宙消灭后，重新创造出一个新的宇宙——我们现在的宇宙或者就是在辐射弥漫的漫长年代以后，产生的。但是秦斯与爱丁顿都曾对我说，他们不相信这种说法。别种情况发生的机会更大，会防止那种很少可能的偶然情况发生。

447

在这些问题上，我们似乎不可能找到确实的证据。历史昭示

我们需要谨慎从事。天体物理学的现代观点仅开始于数年以前，我们已经知道的比有待学习的实在还少得很。

相对论与宇宙

相对论提供的新的自然观，在其发展进程中，必然深刻地影响我们对于物质宇宙的观念。它在解释万有引力时，用引力场中呈现弯曲的自然路径的理论去代替吸引力的观念。这就不但在精密的实验中，导致稍有不同的结果，而且如我们以前所说过的，也完全改变了我们对于宇宙广袤的观念。

如果采用欧几里得的空间与牛顿的时间，则我们自然以为存在是无穷的。空间无限地伸至最远的恒星以外，时间则通达过去与未来，均匀而永恒地流逝着。

但是，如果我们的新时空连续区，由于物质的存在而表现弯曲，我们就进入另一思想境界了。时间或者仍然是无止境地从永久到永久地流逝着，而空间的弯曲则指示出一个有限空间的宇宙。设想我们以光速继续前进，则终将达到一个有限的境界，或重返回到我们的出发点。哈布耳估计整个空间约为威尔逊山大望远镜所可见到的那一部分的十万万倍，而这个望远镜能够看见我们星系以外的星云两百万个之多。这表明光线经行宇宙一周，约需千万万(10^{11})年。爱因斯坦曾描绘过一个三维的空间，其弯曲的方式正如我们在二维空间所谓的圆柱面那样。时间则相当于圆柱的轴线。德·西特 (De Sitter) 则想象一个球面时空。如果我们向外旅行，去追寻更大的球，则我们终将达到一个最大的球。这里的时间，从地球上看去，好象停止不动。正如爱丁顿所说："好象疯人的茶会，时间永远是六点钟，不管我们等候多久，总是看不到什么动静。"但是如果我们能够达到这个保守的天堂，则我们必定感觉在

该处经历的时间，也依然流逝，不过其流逝的方向不同而已。

德·西特指出，这种从地球上所见的时间的变慢，有一轻微的证据。有些旋涡星云是我们所知道的最远的物体。它们光谱中的谱线，与地球上光谱的同一谱线比较，位置颇有移动，如哈布耳所指出的，绝大多数都移向红端。这现象经常被解释为由于旋涡星云具有很大的退行速度（比较其他任何天体的都大），这现象有时又被解释为宇宙的膨胀。十分可能，我们现在所观察的这一现象，就是从地球上可以看见的原子振动的变慢，即大自然的时计的速度的改变，或时间的尺度的变化。

天体物理学近况①

现在已有许多证据表明，星际空间有稀薄物质的存在。猎户座δ星是一对双星中的一个成员，与上述的别的双星一样，当其环绕其伴星旋转时，其谱线表现有移动的现象。1904年，哈特曼(Hartmann)注意到H和K两条钙线，并不参加这种周期性的移动，而且在别的双星的光谱里钠的D谱线也象是驻定的。但是普拉斯基特(Plaskett)与皮尔斯(Pearce)发现这些谱线并非真正固定，而表现有相当于我们的星系自转的运动。这些差不多固定的谱线，只在1000光年外的恒星光谱里才看得见，而且恒星距离愈远，这些谱线愈强；它们显然是散布在空间的钙和钠所造成的，在有些地方，凝聚成宇宙云或气体星云。这种星际物质的密度极小；就平均而言，这是10^{-24}，即每立方厘米内只有一个原子；即在一个典型星云（例如猎户座大星云）的中心，也是10^{-20}，只有实验室所能造

① H. Spencer Jones, *General Astronomy*, London, 1934. Sir Arthur Eddington, *The Expanding Universe*, Cambridge, 1933; *New Pathways in Science*, Cambridge, 1935. Sir James Jeans, *The Universe Around Us*, Cambridge, 1933, 1944.

的高度“真空”的密度的百万分之一。由于碰撞的稀罕，宇宙云里的质点不会丧失很多的热量，其所能维持的温度达15,000°C,而空间里陨星的温度可以降到-270°C,仅在绝对零度上3°而已。

气体星云不自发光，而是靠其范围内的极热星的光而发光。极热星所发的光激发星云的质点，使其射出不同周期的光线，换句话说，即造成荧光效应。还有所谓暗星云。这种暗星云阻碍其后面的远星的光透过。暗星云可能与亮星云具有相同的性质，只是在其范围内没有热星激发其发光而已。这些星云里的质点、大小和光的波长相似；它们具有很大的吸光能力。

449

亮星云光谱中有明线，主要是电离氢和氦的谱线，以及实验室里还没有见过的谱线，例如其中两条绿色的谱线，假想其起源于一未知的、名叫氢的元素。但是，1927年包温(I. S. Bowen)发现这些奇怪的谱线是由双电离氧原子所造成的，所谓双电离氧原子也就是其卫星电子从一个轨道跃到另一轨道。在地球上比较扰攘的环境里这些轨道间的路径是不通行的，可是在安静的星云里，在长时间内这路径是敞开的。其他谱线生于单电离的氮，其卫星电子也遵循“禁戒跃迁”。可见空间里有氧和氮(我们熟悉的空气)以及钠和钙。

1869年，勒恩假定太阳上的质点和理想气体中的质点一样活动，而且假定其内部的热量是物质的。他在这种假定下计算了太阳的理论温度。可是爱丁顿指出辐射的重要性，它从内部出来，被外层的原子和电子所捕获，由X射线降级到可见光，因而能量只是缓缓地逸散。所以近些年来人们觉察到在高温下，辐射的和物质的两种热量之比比较想像的大，事实上这两者大约是相等的。在5000°C的温度，辐射压在每平方英尺上约为$\frac{1}{20}$英两，可是在太阳

中心两千万度的高温下，辐射压在每平方英寸上，高达三百万吨[1]。

我们考虑到太阳里自由运动的质点的压力，就可以估算出使太阳维持其所观测到的体积所必需的内部温度，起初人们认为太阳里的自由运动的质点是一般的原子和分子，但是现在我们要用新的原子理论去讨论这个问题。

纽沃尔(Newall)曾向爱丁顿表示，太阳或恒星里的高温必使原子电离，或者说剥掉它外围的电子。例如就氧原子而论，它的原子量是16，其外围电子有 8 个，再加上一个核，质点的数目为 9 ，因而其平均量为16/9或1.78。从锂的1.75到金的2.46，这些量都接近于 2 ，可是就氢而言，原子分裂为两个质点：即质子与电子，质点的平均量为1/2，而不是 2 。因此，就温度的问题而言，我们可将质点概括地分为氢和非氢两类，含氢愈多的星，其理论的光度愈小。根据观测到的光度，好象1/3氢和2/3非氢的比例适合多数恒星的观测到的性质。1929 年，阿特金森 (Robert Atkinson) 与霍特曼斯(Fritz Houtermans)指出，在太阳里很高的温度下，原子核如果损失了外围电子的保障，可能也遭到摧毁。

恒星物质电离的概念受到量子理论的支持。这一概念最初是埃格特(Eggert，1919年)提出的，后经萨哈应用(1921年)到恒星外层，因而建立恒星光谱的现代理论。

天文学家考虑了新的有关原子的知识，复回到勒恩的理论，仍假设恒星的质点的作用如理想气体，即使在上述的致密的恒星里也是这样。在这些致密的恒星里，原子被剥掉了外围的电子，因而

① Eddington, *Internal Constitution of the Stars*, 1927.

它们的核和脱离了的电子的作用,象独立的质点一样。

银河系以外,在遥远的距离处,还有别的星系,以旋涡星云的姿态出现在我们眼里。在威尔逊山100吋反射望远镜里,用抽样法估计,能够看见的旋涡星云之数,当以千万计;其中最远的可能在五万万光年以外。现在制造中的200吋反射望远镜能够探寻到两倍远处,因而可以显出八倍多的星云,如果它们是均匀的分布,而空间里又无吸光的物质的话。这里可以提说一下:以上所说的宇宙线来自这些外围区域,即星际空间或旋涡星云。

以上说过,旋涡星云的谱线和地面对应的谱线比较,是向红端移动的。这表示星云有一种退行,这退行的速度是和距离成正比而增大的,现在认为这是宇宙在不断地膨胀的表现。德·西特的空间理论〔它通过弗里德曼(A. Friedmann)与勒梅特(G. Lemaitre)的数学研究,和爱因斯坦的理论联系起来〕也认为有这种膨胀的宇宙,所以我们可说观测与理论是符合的。 451

米耳恩指出,如果起初星系具有现今的速度,而密集在小范围内,其中具有最大速度的,现在会离开得最远;我们应可得到所观测到的距离与退行速度之间的关系。1932年,爱丁顿估计这速度是每百万秒差距每秒528公里,在15万万(1.5×10^9)年后,宇宙的大小便增加一倍。这样说来,宇宙的初始半径就是328个百万(3.28×10^8)秒差距或10万万6800万(1.68×10^9)光年;宇宙的总质量为2.14×10^{55}克,或1.08×10^{22}个太阳的质量,宇宙的质子数或电子数为1.29×10^{79}。528那个基本数字可能需要减小①。这个

① 原书作"增大"是"减小"的误排。根据天文学上的新发现,528这个数字,到1952年改为349,1955年改为179,1958年改为82,现尚未能确定。——译注

不可逆或单向的过程的设想所引起的问题与热力学第二定律下熵的不断增长所引起的问题是相似的；两者都指出有一确定的开始，能量的供给量逐渐降低，以至于终于竭尽。有人说我们现今的热力学可能是膨胀宇宙的一种特性；事实上托尔曼(Tolman)就提出一种相对论性的热力学，认为在不断收缩的宇宙里第二律是反向的。能量愈来愈多，从辐射再形成物质是可能的。在这些思路上，我们也可猜想有一种脉动的宇宙，我们碰巧正好生在它的膨胀阶段，这样便不需要一个开始或者终结了。

最终的问题是：太阳和恒星所辐射出的能量的来源是什么？既然内部的温度须维持几千万度，所以这能量不能从外面而来，似乎必须是某种原子内部的能量。爱因斯坦的质量与能量的关系(即1克物质具有9×10^{20}尔格的能量)说明太阳所储蓄的总能量为1.8×10^{54}尔格。以现在的输出率计，这足够供给15万亿(1.5×10^{13})年，但以质量变少，因而输出率逐渐变小，这时间可能还要长些。由计算得知太阳的年龄5万亿(5×10^{12})年。这是在质子与电子互相湮灭的假设下得出的结果，但上面说过，由于阿斯顿的工作，由于正电子的发现，这个假设难能成立了。

452

1920年，阿斯顿对于氢原子量的精密测定说明，氢嬗变为别的元素时，可以得到大量的能量，这样便提供了能量的另外一种来源。在近几年来，这个来源看来更加可能。这个过程进行的方式就是在碳和氮的催化作用下，氢转化为氦①。

这样所获得的能量自然比由湮灭理论而得的少些，因湮灭用去太阳的全部质量，而由氢嬗变为非氢只用去了质量的10%。于

① G. Gamow, *The Birth and Death of the Sun*, London, 1941.

是太阳的辐射可以维持100万万(10^{10})年，这样长的时间已足够满足地质学者，虽然比较湮灭说所说的万亿年要短些。恒星的年龄似乎也可能只是星系退行所需的时间的几倍，我们得出的数量级约为几十万万年，譬如说2×10^9年。如果考虑到引力收缩和放射物质所释放的能量，这数字还可能大一些。这个理论表明太阳和恒星具有稳定性。这是这一理论被人相信的原因之一。

我们可将这些数字和地球的年龄比较，这年龄是根据各种岩石里放射元素铀和钍与其蜕变后的产物两者的相对含量测定的。由这一研究求得地壳的形成当不晚于16万万(1.6×10^9)年以前。

根据相对论，空间，或者时空，有某种自然曲率，这曲率在物质附近或在电磁场里便会增加。这自然曲率是与宇宙斥力等价的相对性。在单位距离，这宇宙斥力是一个宇宙常数，常写为λ。这个常数的值，可由星系的退行速度并同时考虑万有引力而估计之。取爱丁顿的数字，星系的退行速度与距离成正比，这速度是每百万秒差距每秒500公里。在15000万(1.5×10^8)光年处，这速度是每秒15,000英里。在19万万(1.9×10^9)光年处，它是每秒190,000英里，但是这个数字大过光速，显然是有错误存在。也许爱因斯坦的或德·西特的闭合的时空(其中没有任何距离超过某一数量)，可以拯救我们的理论免于毁灭。 453

地质学①

近年来，地质学的最重要的进展，是通过研究地球物理学而取得的。以物理学的方法研究的结果说明，地球不恰是一个类球体，而是一个不规则的形状，名叫“大地水准面”(geoid)。由物理学的

① H. Jeffreys, *The Earth*, Cambridge, 1929; *Earthquakes and Mountains*,

方法也获得一些海陆表面下的知识。

在地面各处精确测量重力的结果，有一些异常的情况。杰弗里斯(Jeffreys)认为，这些异常的情况想必说明山岳不只为其下面的岩石所支持，而且部分地为地壳的力量所支持。地壳有时受到很大应力。明内兹(Meinesz)等人在东印度附近乘潜水艇观测，发现地壳上有一窄带，在不稳定的平衡状态下，向下发生显著的弯曲。布拉德(Bullard)指出，非洲大裂谷一带底部有重力反常现象；说明地壳的较轻物质，因受山谷两侧的向内推力，而被挤下去。

地震观测，包含近震与远震两种地震的观测。近震波主要在地球表面或地壳内传播，而远震波才经过地球的深层，有些甚至通过地心附近。杰弗里斯认为，地震的研究，说明地壳是相当薄的一层(大约只有25英里)，地壳里不同的物质分布在不同的地层之中。除了熟悉的凝结波与畸变波之外，现在又发现别的低速波。对这些波的观测说明，不同地区上有反射与折射现象，表明地壳内物质分布的不连续情况。经过地球内部的远震表明，地核的半径大于地球的半径之半。需要固体介质传播的畸变波并不重新出现于地核之外；因此地核可能是液体的，据杰弗里斯说，可能是铁或铁镍的熔液。

地面下几英尺的强烈火药爆炸，可以激起类似天然地震的波动。用地震仪在若干选定地点对各种波到达时刻加以记录，可以测量其传达的速度。有些波向下通过未凝固的结构在比较凝固的层上反射回来，形成"回声"，由其反射所需的时间，可以求得这些层的深度。类似的方法可用以探寻油层，并用于海底地质学，以绘

454

London, 1935. O. T. Jones, "Geophysics", *Proc. Inst. Civil Engineers*, 1936. E. C. Bullard, "Geophysical study of submarine geology", *Nature*, 1940, p. 764. E. G. R. Taylor, *Historical Association Pamphlet*, No. 126.

海底的地貌图。美国地质调查学会发明一种方法，从一个固定浮标上测量船只的距离：一个小炸弹由船上掷出，并记录其时刻，声音在海面传播，使浮标上的一个扬声器与一具无线电发射机开始工作，扬声器和发报机所发出的信号也在船只上加以记录；由这两种记录之间的时间差便可推算距离。大部分美国沿海地貌是这样绘成的；在大陆架与其外面的斜坡之间常有鲜明的界限。靠了观测波在岩层分界面处的反射，也获得一些有用的知识，在软的岩层中间波行较慢，在硬的岩层中间波行较速。不列颠群岛陆地是火成岩和早期水成岩的结构，但其附近的海底是较软和新形成的水成岩的结构，这些岩石在距岸150哩外，以百㖊(600呎)的测索测量，深度差可达8000呎之多。

第十二章　科学的哲学及其展望

二十世纪的哲学——逻辑与数学——归纳法——自然律——认识论——数学与自然界——物质的消灭——自由意志与决定论——机体概念——物理学、意识与熵——天体演化学——科学、哲学与宗教

二十世纪的哲学

哲学思想的各个线索，已于第八章中讲到十九世纪，现在须追踪到二十世纪了。

法国百科全书派所传授的哲学，本根源于牛顿的科学，其后又与达尔文学说汇合而成德国的唯物主义。但在此以前，康德、黑格尔及其信徒已建立起一个唯心主义的派别。此派在经院派哲学家中虽颇占优势，但引起科学家的反感，因而大部分科学家唾弃哲学达一百多年之久。

1879年，罗马教皇列奥八世（Leo Ⅷ）发出通谕，重新宣布圣托马斯·阿奎那的学说为罗马教会的官方哲学，这使托马斯学说在天主教会思想学派中又得复活。当时有人企图用现代知识或者说用正统神学家所能接受的那种现代知识[①]，来诠释中世纪经院哲学。这种尝试的成果，或者可以说是使经院哲学与某几门科学实现了妥协，而不是接受了整个科学精神。所以这些成果不在我

① *A Manual of Modern Scholastic Philosophy*, chiefly by Cardinal Mercier, Eng. trans. 2nd ed. 2 vols. London, 1917.

们讨论之列，我们须对其他方面的发展加以探讨叙述。

二十世纪的初年，多数科学家都不自觉地抱持一种朴素的唯物主义，或者，如果他们对于这类问题的确予以考虑，则必倾向于马赫和皮尔生的现象论，或海克尔或克利福德的进化一元论。

进化论在达尔文的谦逊的心目中，仅仅是科学上的一种学说，此学说或者可以用自然选择的假设加以部分的解释；但后来竟变 456 成一种哲学，甚至在有些人看来差不多成为一种信条了。进化论的生物学给予一般思想界的真正教训是：任何事物都有其连续不断的变化，如果这种变化在与环境不合的方向上走得很远，可能就有某种淘汰去加以制止。我们已经看见思想的各部门如何次第接受这个教训，以及如何加以推广与加深。但这种科学学说正当的影响，并不足以使它成为一个哲学体系，去说明实在的基础与意义。生物学和古生物学说明，在数百万年间，从一个简单的始祖进化到了许多不同而复杂的种属。但进化论的哲学家，自斯宾塞以来，都认这个过程是事物的普遍定律。所以进化论虽然最初是与唯物主义决定论联系起来的，在一时期中，竟成为乐观主义的哲学了。即令死亡仍是个人生命的结局，人们可能觉得他自身总是有机体系中，或宇宙结构中，不断进化的连锁的一环。

近年以来，进化论的哲学家表现出一些新的趋势，特别是要用生物学作为一条出路来逃避物理学的机械观点。柏格森更走极端，他不但要把物理学，并且要把逻辑连同它的固定原则，一扫而空①。在他看来，生命乃不断转化的宇宙长河，其中的分段只是虚幻的。实在可于生活中得到，而不能用理性加以推敲。他承认终极因的说法，但是这些原因，和预定宿命论者所主张的原因不同，

① *Évolution Créatrice*, Paris, 1907; Eng. trans. London, 1911.

是随着创造的进化而重新形成的。

因此，柏格森赞扬同理性相对立的本能与直觉，以为理性只是在生存竞争中，靠了自然淘汰产生出来的一个实用的优点而已。这种说法，用之于本能，似更为有力。实际上，在最有生存价值的、原始而实用的需要中，本能最为强烈。知识的进步所依靠的理性，以及直觉与理性的有效结合，似乎主要是在后期，而且主要是在与自然选择无明显关系的目的上，才有用。例如为了研究科学，即便是为了创立柏格森所引用的自然选择学说，为了研究哲学，即便是为了建立他所制订的那种创造进化论的哲学，理性与直觉确实是必需的。

威廉·詹姆斯(William James)的实用主义，是进化论哲学的457又一形式。这种实用主义以为一种信念的真理性的惟一试金石，就是它是否有用。实用主义把科学上的与宗教上的不可知论一齐规避。归纳法的可靠性，是一个困难问题。实用主义解决这个困难问题的办法是说：我们要生存下去，所以我们必须假设归纳法是可靠的。除非我们用过去的观察来作将来的指南，我们必遭灾害。根据自然选择的整个学说，宗教既然流行甚广，很可能有些宗教信仰是有生存价值的，因此，按照实用主义的定义，这些宗教信仰是“真理”。或许我们不妨说，如果一个实用主义者为了求得生存价值改变自己的信仰，以求在亨利八世(Henry VIII)，爱德华六世(Edward VI)，玛丽(Mary)及伊丽莎白四朝的统治下生存下来，那末，他的“真理”观念已经经过有效的扩充。可能正如詹姆斯所说，在科学与日常生活中，有许多信念，只有在这个意义上，即在实践中行得通的意义上，才算得真理。但是还有一些别的信念，显然要用另一种试金石来检验，直接观察和实验的试金石；这样，狭义的实用主义者所未曾认识的一个标准，也可以用来检验了。

进化论虽然从科学与哲学发展成为历史学、社会学及政治学的普通原则，但各时代中的多数学院哲学家，还保留根源于柏拉图，经德国的唯心主义，如康德学派或黑格尔学派传授的某种古典传统。黑格尔以为关于实在世界的知识，可以用逻辑推导出来，而在英国，这个学说更为布莱德雷加以现代化。他的《外观与实在》(*Appearance and Reality*)一书，出版于1893年。布莱德雷以为科学用空间和时间表述出来的现象世界，是自相矛盾而虚幻的。实在的世界，必在逻辑上自相一致，最后归结为超时与超限的绝对。这种观念，实渊源于巴门尼德、芝诺及柏拉图时代。

约当1900年，对于黑格尔派这一思想方式的反动，即在哲学家中也日趋显著。一方面，逻辑学家如胡塞尔(Husserl)发现了黑格尔的谬误，而否认布莱德雷关于关系与多数，时间与空间是自相矛盾的信念。在这一点上，他们与得到相同结论的数学家携起手来。另一方面，有些人起来反抗理性的束缚，起来反抗相信世界符合逻辑的古典形式主义，并因而接受了柏格森颂扬直觉或本能的学说，或者跟着詹姆斯陷入实用主义，即激进经验论。这种激进经验论以为关于实在的观念只能建立在经验的基础上。这最后一派的思想以及数学家的思想，很明显地与科学观点极其近似，物理科学与哲学再行携手的新发展，即由此而来。 458

马赫在分析经验时所持的见解，重新出现在詹姆斯的激进经验论中[①]。这种见解，加上逻辑学、认识论及数学原理方面的新观点[②]，促成一个新的思想学派，有时称为新实在论。这派哲学，主要产生于哈佛大学。它舍弃了建立一个包罗万象的系统的观念(这种

---

① E. Mach, *Die Analyse der Empfindungen*, Jena, 1886, 6th ed. 1911.

② Bertrand Russell, *Sceptical Essays*, London, 1928, pp. 54—79.

观念是以宇宙是一个整体的学说为基础的)，正如科学在十七世纪脱离经院哲学派时舍弃这个观念一样。它在研究普遍的问题时，把零零碎碎的知识拼凑在一起，正如科学研究具体问题时一样，而当观察或实验证据尚不充足时，则提出一些假设。在它的认识论中，它不相信实在必然以某种方式随我们的思想为转移：在这一点上它是与唯心主义不同的。但这一派哲学超出了马赫的纯粹现象论的范围，它以为科学不但研究感觉及心理的概念，而且以某种方式研究持久性的实在。在逻辑方面，新实在论以为，一事物的内在性质，并不足以使我们推出它与其他事物的关系。所以在逻辑及认识论方面，这个新的哲学又回到了分析的方法。但是，它与数学原理的联系所产生的影响最大。罗素说：

自埃利亚的芝诺以来，唯心派的哲学家，竭力败坏数学的信誉，制造出种种有意设计出来的矛盾，企图证明数学未能求得实在的形而上学的真理，而哲学家则能供给较优的成品。这种作风，康德固多，而黑格尔尤甚。十九世纪的数学家已摧毁了康德哲学的这一部分。洛巴捷夫斯基发明非欧几里得几何学，埋葬了康德的先验美学的数学论据。魏尔斯特拉斯(Weierstrass)证明了连续性不包括无穷小；坎托(Georg Cantor)发明一连续性的理论与一无穷大的理论，使古来哲学家所津津乐道的疑难全归消灭。即康德否认算术来自逻辑之说，也经弗雷格(Frege)证明其错误。所有这些结果，都得自通常的数学方法，其确实可靠不亚于乘法歌诀。哲学家应付的方法，就是不看这些有关的著作。唯有新的哲学才能吸收这种新的成果，从而对于安于无知的敌人，一举取得辩论上的胜利①。

哲学思想上这个革命的详情，只有懂得十分专门而精深的数学的人才能领会。然其总的结果却很明白。哲学现已不能单独建立在自身的基础上；它再一次同其他的知识联系起来。在中古时代和

① *Sceptical Essay*, p. 71. 详论见 Russell, *Our Knowledge of the External World*, Chapters V and VI. London, 1914; 2nd. ed. 1926。

459

许多现代哲学体系中，其他学科是从哲学家预定的宇宙结构中推导出来的并适合于这个宇宙结构的。新实在论则告诉哲学家须如牛顿时期一样，在建立自己的庙堂以前，要了解数学与科学。这个庙堂并且须是一砖一瓦地建立起来，不可希望是从理想乡中完整取来的。

新实在论利用数理逻辑作为自己创造的工具，因而能以往昔哲学所不可能的方式，找到科学中新知识的哲学意义。因此，这个新方法虽然主要源于数学的发展，然其重要的数据则得自物理学——相对论、量子论与波动力学。现在我们尝试不用术语，对于建立在科学基础上的各派哲学中这个最新的一派，加以叙述。

逻辑与数学[1]

逻辑是推理的普通科学，因此应包括所有的推理的方式，不过由于历史的巧合，它却开始于演绎法。希腊学者关于演绎几何学的伟大发现，使得亚里斯多德在创立逻辑时，过于偏重演绎推理。反之，弗兰西斯·培根坚持认为归纳法具有独特无二的重要性。这是一种自然的反动，因为他看到新的实验方法具有远大前途。但是他仍将推理方法分为三类，——即自特殊到特殊，自特殊到普遍，及自普遍到特殊。穆勒指出，真正的科学方法，应包括归纳与演绎，这样就把亚里斯多德的研究成果与培根的研究成果结合起来了。

形而上学，可以看做是研究一般存在——意识所了解、或可了解的事物——的学问。心理学是研究一般意识的学问，就中包括意识的活动，推理即是其中的一种。所以照分类法，逻辑应是心理

① See T. Case, art. "Logic", in *Encyclopaedia Britannica*, 11th ed.; and Bertrand Russell, *Our Knowledge of the External World*.

学的一个分支，但由于它的重要性，又由于这个分支可以与心理学其他分支分开来研究，它就成为一个独立的学科。

460 不久以前，形式逻辑大部分还不过是亚里斯多德及中古学者所传授的专门术语及三段论法的叙述而已。所幸非形式的推理方法，在讲究实际的科学家中间发展起来。这种方法，把归纳与演绎结合起来，开始于伽利略，甚至在演绎方面，也发展成三段论法从来没有想到的方法，但是逻辑学者仍然墨守成法。

坎贝尔(N.R.Campbell)在1920年指出：在科学家看来，甚至逻辑的三段论法，似也脱不了归纳方法[1]。我们举一个熟悉的例子：——凡人都有死，苏格拉底是一个人，所以苏格拉底也有死。根据观察与实验，我们发现某些肉体和心理特点，一律都是互相联系的；这个定律我们以“人”的概念来表达。我们更发现这“人”的概念，是与“死”这一特性有联带关系的，因此我们得到另一个定律，说这一联带关系是普遍的——凡人必有死。由此可以推论：这定律适用于个人，而苏格拉底证明也有死。但是如果这样去论证，那么其中实含有归纳的意义。当然纯粹的逻辑家会说，大前提是假设给定的，而逻辑所涉及的，只是从大前提演绎而已。但是坎贝尔认为，如果推理果真全无归纳的因素，那么这种推理必不能得到科学家的信服。

传统的逻辑，以为每一命题，必定是一宾词附于一主词。这个假设，使哲学家如黑格尔及布莱德雷等，得出他们的一部分特有的结论，如：只能有一个真正的主词——绝对——存在，因为如果有两个，这个有二主词的命题，就不会指定一宾词附于二主词中的任何一个。因此各别的感觉对象，是虚幻的，并溶化在单一的绝对

① N.R.Campbell, *Physics, The Elements*, Cambridge, 1920, p.235.

中。由于假定这个主词-宾词形式,在逻辑上具有普遍性,有些人就不承认关系的实在性,而想把关系归结为外表上互相关联的名词的特性。因此科学(主要是研究事物关系的学问)的对象,也象感觉的对象一样变成虚幻的了。

对称的关系,如二物的相等或不相等,也许可以看做是特性的一种表现。但是对于非对称的关系,如一物大于他物,或一物在他物之前,这种说法便不能成立。因此我们必须承认关系的实在性,这样一来,这种假定世界为虚幻的,纯逻辑根据便化为乌有了。

或许在习惯于更具体的科学推理的人看来,这种字面上的争论,没有多大说服力,但是,这种论证却促使人们去寻找数学上的 461 证据。这是我们在下面所要叙述的。

现代数理逻辑,是在1854年从布尔开始的。他创设了一种数学符号,用以从前提推出结论。此后,皮诺(Peano)与弗雷格以数学分析证明传统的逻辑认为属于同一形式的许多命题,例如"此人必有死"与"凡人必有死",是根本不同的。以往的混乱把事物的关系与事物的特性,具体的存在与抽象的概念,以及感觉世界与柏拉图的理念世界,弄得混淆不清。

数理逻辑使学者很容易处理抽象的概念,并且可以提示一些本来会被忽视的新的假说。它诱导出一种物理学概念的理论,以及数论的新学说。这个新学说是1884年弗雷格发现的,二十年后又为罗素所独立发现。罗素说[1]:

大多数哲学家都以为物理的与心理的现象,把世界的一切都包括无遗了。有些人说,数学的对象显然不是主观的,所以必定是物理的及经验的。另一些人说,数学显然不是物理的,所以必定是主观的及心理的。就他们所否认

[1] *Our Knowledge of the External World*, p.205.

的而言，双方都对。但就他们所断言的而论，彼此都错。弗雷格的优点，就在接受双方所否认之点，并承认逻辑的世界既非心理的亦非物理的，从而找到一个第三种论断。

弗雷格把事物之仅为客观的，如地球的轴，与其既为客观又为实在而占有空间的，如地球自身，加以区别。在这个意义上说，数以及全部数学与逻辑，既非占有空间的和物理的，也非主观的，而是感觉不到的，并且是客观的。由此可以得出结论：我们必须把数看做是类——2是代表所有成双的一类，3是代表所有成参的一类等等。正如罗素的定义所说："某一类的项，就是与该类相似的所有各类的类。"这已证明与算术的公式相符，而可以适用于0，适用于1，以至于无穷大的数——这些数都是其他学说所感觉困难的。至于类之是否虚设而不存在，那是没有关系的。如果用任何其他有类的定义性质的东西去代替类，则上述的定义也同样可用。由此可知，虽然数已变成非真实的，但它们依然是有相等效用的逻辑形式。

有些哲学家对可感觉的世界的实在性表示怀疑，其根据之一就是，无穷大与连续性据说是自相矛盾的，因而是不可能的。固然没有可靠的经验证据，去证明物理世界中的无穷大及连续性，但是在数学推理上，它们却是必需的，而哲学家所谓的矛盾，现在已知其为虚幻的了。

462

连续性的问题，本质上就等于无穷大的问题，因为一个连续级数，必含有无穷多的项。毕达哥拉斯遇到了一个疑难：他发现直角三角形的弦的平方，等于其二边的平方之和，如果三角形的两边相等，则弦的平方，即等于边的平方的二倍。但毕达哥拉斯学派不久又证明一个整数的平方，不能为另一个整数平方的二倍，如是则边的长度与弦的长度，是不能以整数相约的。毕达哥拉斯学派本来相信数是世界的本质，据说得此发现以后，大感沮丧而把它隐藏起

来。几何学是在欧几里得采用的基础上重新建立起来的，不涉及算术，所以避免了这一疑难。

笛卡尔几何学，恢复了算术的方法，由于利用“无理数”作不可互约的长度的比数，很快就发展起来。这种无理数，证明与算术的规则相符，远在近年来找到圆满的定义与解决不可约的问题以前，就被人们深信不疑地加以采用了。

我们还可以概括地谈谈现代数学家怎样构成无穷大的 理 论，使芝诺以来的哲学家所争论不已的疑难问题，归于消失。这个问题本质上是数学问题，在数学的方法尚不够精深以前，这个问题是无法研究，甚至于提不出来的。

无穷级数与无穷大，在现代数学的初期，即已出现。它们的性质，有些希奇，但数学家并不以无穷大的观念为虚幻，而继续应用它们，后来终于为他们的方法找到逻辑根据。

关于无穷大的困难，一部分是由于字义的误解。这种误解，是由于把数学上的无穷大，与非数学家的哲学家所想象的无限(一种有些模糊的观念，与数学问题毫不相干)，混为一谈。照字源说：“无穷大”的意义，是没有止境。但是有些无穷级数(例如现在以前的过去时刻组成的级数，又如无穷个点组成的线段)有止境，有些则没有，又有些数的集合，虽为无穷，而非级数。

其他困难，是由于想把有限数的某些特性，如可以数清的特性等，应用于无穷数。无穷级数虽其项数不可胜数，但可由其自身数类的性质而识别。并且一个无穷数，不因有所加减，甚至乘除，而变大或变小。现在把所有数字 1,2,3,……书一横行，而将所有偶数 2,4,6,……在其下面另书一横行。两行数字的数目相等，但下行乃从所有数的无穷集合中，取去无穷个奇数而得的。这样，全体显然不大于其部分。此种矛盾，使哲学家否认无穷数的存在。但是

所谓"大于",其意义颇为含糊。这里的"大于",乃"含有较多项"的意义。在此意义上,全体固能等于其部分,而无自相矛盾之病。

无穷大的现代理论,是坎托在1882—3年提出来的。他证明有无穷个不同的无穷数,而较大及较小的观念,通常也可应用于无穷数。在此种观念不能应用的某些情况下,必有新问题发生。例如一长线所含数学上点的数目,与一短线所含的相等;这里所谓较大较小,并非纯粹算术的,而含有几何上的新概念。

哲学家所遭遇的困难,大部起于假设有限数的特性,能应用于无穷数。如果有限的时间与空间,为有限个数的时刻与点所组成,则芝诺的论据或可正确。为了避免芝诺的矛盾,我们可以有几条出路:(1)否认时间及空间的实在性;或(2)否认空间及时间为点与顷刻所组成;或(3)坚持认为如果空间与时间为点与时刻所组成,则点与时刻之数为无穷。芝诺与其许多信徒选择了第一条出路,而其他如柏格森等则选择了第二条出路。

但是根据其他的理由,无穷数,无穷级数,以及不含连续项的无穷集数的存在,是必须予以承认的。例如我们可以按1/2,1/4,1/8等的次序,写列一个小于1的分数级数,但在每两个分数之间,464 尚有其他分数,如7/16,3/8等等。在此级数中,没有两个分数是相连的,而它们的总数目是无穷的。然而在它们所有数值的总和之外还有1。因此我们必须承认在一个无穷级数的总和之外,确还有数的存在。芝诺关于线上的点数的论述,许多可应用于这分数的集数。我们不能否认分数的存在,因此我们为了有效地避免芝诺的矛盾,就必须找到一个站得住脚的无穷数的理论。

数学中的无穷数,是在可以计数的数之外的。无穷数不能靠从一个数走到下一个数的连续步骤达到。它们存在于数类中,只能以数学的术语来下定义,用数学的方法来加以检验。但凡有资

格判断的人士,都一致承认数理逻辑及无穷数的数学理论,确实是在正确的路上前进。妄图证明感觉对象与科学定律为虚幻的陈旧的逻辑数据,今已证明其不确了;这一问题仍然存在,因此须另用其他方法去研究。不管许多唯心主义哲学家怎样宣讲,想用先验的心理方法推出外界的性质,实不可能。科学的观察与归纳方法,是必需的。

归纳法

从个别的现象以求概括定律的步骤,叫做归纳法。逻辑中归纳法的部分在实验科学中特别重要。从以前各章所述,我们知道有许多哲学家研究它,其中以亚里斯多德及弗兰西斯·培根最为有名。

培根赞扬实验,以为用差不多是机械式的方法可以确定地建立一般性的定律。怀疑论者休谟,则以为如果用归纳法求新知识,即使归纳法完成其应有的任务,有时也可能得到错误的结果,因此,用归纳法所得的定律,只能说多少是或然的,而不能认为是确定的。但不管休谟的意见如何,大多数科学家与若干哲学家,仍以归纳法为探求绝对真理的道路,甚至穆勒也持此信念。他把归纳法放到因果律的基础上,而认为因果律已为许多确具原因的实例所证明。惠威尔指出,单单经验可以证明一般性(generality),但不能证明普遍性(universality),但如果再加上运用必然的真理,如算术原则、几何公理及几何演绎,则普遍性也可求得。当然,这些见解都是在非欧几里得空间发现以前的事①。当时虽有惠威尔的警告, 465

① 惠威尔对算术的称颂可能是对的;整数间的关系似仍含有绝对的真理。或者如克隆尼克(Kronecker)所说:“只有整数是上帝创造的,其他都是人为的。”

穆勒的见解似乎仍然代表了当时一般的信念。正如亨利·彭加勒(Henri Poincaré)所说①：

自一肤浅的观察者看来，科学的真理是毫无疑问的；科学的逻辑是决无错误的；学者有时错误的原因是他未认清原则。

科学的功用，在追溯各种现象间的关系，或更恰当地说，在追溯表述各种现象的概念间的关系。但当我们，比方说，已发现气体压力的增大，使其体积缩小时，我们也同样可以说，气体体积的缩小，使其压力增大②。在我们的意识看来，凡是我们先想到的变量，就是原因。由此可知原因的观念与结果的观念是暧昧不明的。只有当此中含有时间的因素时——即当互相关联的事件之一，在另一事件之后时——我们的意识，才本能地把前件(*post hoc*)看做是事因(*propter hoc*)。但这时也不可能把一个事件的真正原因和一长串发生在前的情况——都是该事件发生的必要条件——分开。更进一步，相对论已经证明，在“此地-此时”的一个事件，只能成为绝对的未来中的事件的原因，与绝对的过去中的事件的结果。在第16图(见406页)中的中立区域内的事件，与一个“此地-此时”的事件，不能有因果的关系，因为如果这样的话，其影响的传递必将超过光速才可以③。并且如果用因果原理来证明归纳法的有效性，说明它是追寻绝对真理的响导，那末，从逻辑上来说，这一原理自身便不能用归纳方法来加以证明。因此，穆勒的论据的基础就

① H. Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*, Paris, p. 1.

② W. C. D. Dampier-Whetham, *The Recent Development of Physical Science*, 1st ed. London, 1904, p. 29.

③ A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge, 1928, p. 295.

动摇了。

的确，归纳方法叙述起来是很容易的，而要证明归纳在逻辑上的有效性，则颇为困难。归纳方法确非培根式的。惠威尔指出，归纳的成功，在于出发时须有正确的观念。洞察力，想象力，或者天才，都是需要的：首先要选择最好的基本概念，并把各种现象加以妥善分类，使其适于归纳的运用①；其次要制订一个临时的“定律”，作为工作假说，再以进一步的观察及实验加以检验。

现试以实例说明于下：亚里斯多德的物质及其特性、天然位置等等的观念，不能用作动力学的概念；如果说它能导出些什么，它所导出的，只是些假的结论，如重的东西坠落得较快之类。从此以后，毫无进步可言。直至伽利略及牛顿才摈弃了整个亚里斯多德的体系，从混乱之中选择距离或长度、时间及质量作为新的基本概念，这样才能对物质及运动加以思考。 466

伽利略利用距离和时间以及由此导出的速度，于一度失败之后，猜得落体的速度与其降落时间的正确关系，推出其数学推论，并且用实验加以证实。牛顿再添上质量的概念——本隐涵于伽利略的研究成果内——成立了运动定律，又由此推导出动力科学。这种动力学广泛地得到观察与实验的证明。

正确概念的重要是很明显的，有了正确的概念，再给予正确定义的重要性也是很明显的。所以彭加勒以为我们对于时间的测量，会不自觉地选择从正午到正午，而非从日出到日出，因为只有如此，才使牛顿的动力学成为可能②。反对此说的人士，如怀德海及里奇(Ritchie)，所以走到反对的地步，是因为他们把意识当作仲

① H. Poincaré, 及N. R. Campbell, 上所引书, A. D. Ritchie, *Scientific Method*, London, 1923. p. 62。

② *La Valeur de la Science*, Chap. II.

裁者，把我们对于各段时间相等的直接感觉，当作测量的基础[①]。

正确的概念既已择定，人们大概就可以象伽利略那样看出概念间的某些关系。这些关系，或它们的逻辑推论，就可以用实验加以检验，而其中有些将得到证明。于是简单的定律就建立起来，而新的学科也就开始形成了。每一得到证明的新关系，又引起新的实验，实验知识的增加，又需要并引出假设性的新关系。提出可能正确的假说，需要洞察力与想象力；推求假说的推论，需要逻辑本领同时还需要数学本领；检验假说的正确性，需要忍耐、毅力与实验技巧。的确，如坎贝尔所说，归纳是一种艺术，而科学是艺术中的最高的。

从第九章所叙述的生理学及心理学最近的研究成果看来，有一些人如持"行为主义"的观点的人认为，归纳所依靠的基本方法，与心理学的"条件反射"有密切关系。婴儿触火受伤后，将来必知避火。如他触火时，火在炉内，他也将避火炉，即使炉内无火时也是如此。他前面的归纳是对的，后面的是错的，虽然从逻辑上来说，二者都是从一个特殊的例子得到的不合理的概括。相似的结果也可以在动物身上见到；但是无论其为动物或为人类，这些，在最初不过是本能的；关于这个方法的理论及其语言的表述，在很后才有，也许这就是弗洛伊德学派所说的"合理化"——即创设某种不管充分不充分的理由，以证明我们所习惯去作的是合理的。有人以为这些简单的例子可以说明甚至可以解释科学所需要的更为复杂的归纳。这些见解，在某种意义上，是心理学中"行为主义"的扩大，大概将随着那些多少有些机械地看待心理过程的观点，同其存

467

① A. N. Whitehead, *Concept of Nature*, pp. 121 *et seq.*; A. D. Ritchie, *Scientific Method*, London, 1923, p. 140.

亡。

我们现在试研究一下归纳法的正确性。近年来，有许多人尤其是凯恩斯(J.M.Keynes),把概率的数学理论应用于这个问题[①]。凯恩斯的主要问题是：归纳是不是象穆勒所说，只要根据若干数目的实例就行？

凯恩斯所得的结论是：一个归纳的概率，确随实例的数目而增加，不过并不是因为穆勒所举的简单理由，而是因为实例愈多，则自首至末不存在第三种变更因子的可能性愈大，因此各个实例之间，除所考虑的特性外，不存其他共同点的可能性就愈来愈大。要这样增高归纳的正确性，还必须使每一新的实例具有独立性，换言之，即必须不是从其他实例推得的必然结果。一个归纳，可因实例数目的增加而达到确凿无疑，但要使此语有效，我们必须首先证明或假定我们所要证明的概括本身的内在概率，并非无穷的渺小。

在检验上述的假设时，凯恩斯认为，对象的各种特性，象某些孟德尔单元一样结合为群，因此，可能的独立的变数的数目，远较特性的总数目为少。这个原理，在应用统计以建立定律时，也很需要。实际上所有科学的知识(除由纯粹数学所得的知识外)都很需要这个原理。因此，依照凯恩斯的意见，我们必须假定，一对象只具有有限数目的独立特性的概率是有限的，依照尼科德(Nicod)的意见，一个对象具有较某一指定有限数目更少的独立特性的概率是有限的[②]。

布罗德也用概率的方法来处理归纳。他想要证明：除非我们 468 持有某种实在论者的信念——例如假定科学的“定律”所涉及的是

① J. M. Keynes, *Treatise on Probability*, London, 1921.

② Bertrand, Earl Russell, *An Outline of Philosophy*, London, 1927, p. 284.

构成感觉与概念的基础的持久性的客体——“否则，就不可能证明我们有理由相信‘久经考验的’归纳所得到的结果”①。彻底的经验论者，或现象论者，或许回答说：这种信念，虽可用以指示将来什么可能是正确的，但往往证明其是错误的。

自然律

如果我们归纳成功，我们就可以得到一个工作假说；假说若经观测或实验证实，就成为公认的理论或学说；而最后上升到自然律之列。

自然律在哲学上的重要性，曾经为人所夸大，主要责任在于十八世纪法国百科全书学派。这种现象一直继续到十九世纪末叶。此后主要是在马赫的影响下，科学思想之摆，又摆向另一方向，自然律又变成只是经验与感觉常规的速记式记录。

现代的观点，介乎这两极端之间。例如坎贝尔于1920年，批判地分析假说、定律与学说的意义时，举出理由，说明为什么要相信：尽管把理论与事实比较时，人们对理论有些轻视，但是仅仅建立在“事实”基础上的经验定律，并不能引起多大的信赖；然而当此定律能用一种公认的理论加以解释时，人们就相信了②。这样的定律，可能不只是感觉的常规。

坎贝尔以为定律有两种：（1）各种特性的一致的联想，例如“人”或“银”的概念中所隐括的特性③；（2）往往用数学形式表达的各个概念间的关系。穆勒与其信徒只讲第二种定律。“他们以冗长的论文，解释我们如何发现火花在气体中激发爆炸的定律，但并不以为这样一个问题值得任何注意：我们如何发现火花、爆炸

① C. D. Broad, *Scientific Thought*, London, 1923, p. 403.

② N. R. Campbell, *Physics, The Elements*, p. 153.

③ 同书第43页。

与气体所以存在的定律（在他们的讨论中是假定知道这些的）；然而这种后面所说的定律，在科学上却重要得多”① 。凡没有毕生致力于科学工作的人，对于不同定律的相对重要性是没有多少感觉的。

469 自休谟的研究以至凯恩斯的研究，人们对于归纳方法的批判性的考察已证明，归纳科学虽然常常意识不到自己的局限性，也只能求得多少可能正确的结论。有时，概括的概率很大，但是无穷大的概率②（即确定性），是决不能达到的。不多年前，牛顿重力定律的精确以及化学元素的持久不变，被认为毫无疑问的，而事实上，这两个原理正确的概率极大，致使我们大家在剧烈争辩中，都愿以最后的一文钱，为其真实性作赌。然而爱因斯坦与卢瑟福已经证明我们是错了，而我们的金钱要输给表面上愚蠢到、但也是真的愚蠢到同我们打赌的鲁莽赌汉了。

由此可知，经验证明了现代的理论是对的，并且说明由归纳所得的概括或定律，即使被普遍公认为真理，也只可视作或然而已。由于哲学上的决定论的证据在很大程度上建立在自然律普遍适用的信念基础上，所以这问题颇有其重要性。的确，在这方面所用的“定律”二字，颇易引起误解，而已产生不幸的效果了。它使人们觉得无形中有一种道德上的义务，要叫现象“服从定律”，并且使人们以为当我们发现了一个定律，我们就发现了一个终极的原因。

鉴于物质不灭及能量守恒一类定律（或概括）在二十世纪初所处的坚强地位，以及此后在观念上所生的变化，从著者另一本书

① 同书第101页。

② “无穷大的概率”，应是“等于 1 的概率”之误。——译注

(1904年初版)上引来的下面一段文字,也许是很有趣的[①]。

一方面按物理学的观点,我们完全承认这种概括的重要性;但另一方面,我们还须十分小心如何给予它们以某种形而上学的意义。在某种限制条件下,物质与能量以外的其他物理量,也可以守恒。例如在纯粹力学中,我们有动量——质量与速度之积的别称——的守恒。又如在物理或化学变化可以同等自由地向任何一个方向进行的可逆系统中,热力学指出另一量——即克劳胥斯所谓的熵——的守恒。动量与熵,只有在限定的条件下是守恒的;在物理系统中,可见的质量的动量往往毁灭,而在非可逆的过程中,熵量恒趋于增大。

质量与能量在我们所知的条件下似为不灭,而且我们也有理由把它们守恒的原理,扩大到那些条件适用的所有情况下。但是不能由此得出结论说,在某种未知的条件下,物质与能量不能可生可灭。一个飘行海面的波,似为持久不灭。它保持其形式不变,它所含的水量不变。因此我们或许可以说"波的守恒",而这种说法也许和我们说物质的最终质点不灭同样近于真理。然而波的不灭,只是一种外表现象。波的形式的确真是不变,但是波内的物质则常在改变——其改变的方式是接连的各部物质,一个接着一个地采取同一的形式。不少迹象说明,只有在象这种意义上质量才是不灭的。

再者,象著者于多年前教授热学与热力学时所常说的,还有另一理由,说明如果给予这些守恒原理以过分的哲学重要性,是危险的。当意识在一团未经整理的混乱现象中摸索,试图寻求一种秩序的基础时,就自然而然地想到质量与能量一类概念,因为它们是常量,而在一串过程中保持不变。于是意识把它们从混乱中提出,作为方便的物理学概念,而在这些概念基础上建立知识的体系,因此它们遂得进入我们物理学理论的大厦。然后,有实验家,如拉瓦锡或焦耳出来,以其伟大的天才与勤劳,重新发现它们的守

① *Recent Development of Physical Science*, 1st ed. London, 1904, p. 39; 5th ed. 1924.

恒性，建立物质不灭与能量守恒的定律。

这些观念，在那时被视为很奇异，今天已得到一般的公认了。其中有些观念的现代形式，已如上述，而另外一些观念的新证据，将在以下数页中谈到。

坎贝尔说：科学的开始，首先是选择可以取得普遍同意的论断，和可以发现规律的领域，来加以研究；虽然在其推理的每一阶段上，要渗入个人的或相对的因素，而致有发生误差的可能；但由此总可求得科学上最高的成就，正如在艺术中一样①。

爱丁顿分析过相对论对我们心目中的自然界模型及其定律的意义所必然产生的结果②。我们用关系及相关的事物，表述自然界的结构，而以若干坐标表其可能的组态。为了从包含这种坐标的方程式中求得与我们意识相适合的物理世界的模型，我们觉得最好的数学运算方法，就是哈密顿所创立的方法。爱丁顿说："这差不多是从混沌一团的背景中，创造一个活跃世界的象征。"基本的关系似乎毫不需要这一特殊方法，但在遵循此法以后，我们就能构造与守恒定律相符的东西。这些东西是永远追求永久性事物的意识选择出来的——本质、能和波的概念就由此产生了。 471

这样做，我们并不涉及原子、电子或量子；但就场物理学而言，结构已相当完备了。那些场的定律，能量、质量、动量和电荷的守恒，万有引力定律，以及电磁方程式，都照着它们赖以建立的方式去描写现象。它们是自明之理，或恒等式。因此爱丁顿以更深刻更普遍的分析，证实了著者多年以前对于质量及能量守恒的特殊例子所持的论点。

---

① *Physics. The Elements*, p. 22.

② A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge, 1928, p. 295.

爱丁顿将自然律分为三类：

（1）恒等的定律——如质量或能量守恒一类的定律。这类定律由于其创立的方式，乃是数学上的恒等式。

（2）统计的定律——描写群体的性行的定律，不论是原子的群体或人类的群体。我们对于机械的必然性的感觉，大部是因为到不久以前为止，我们只能以统计方法研究巨大数目的原子所致。自然界的一致乃平均数的一致。意识要求设计一个自然界的模型，以求满足此种定律。

（3）超越经验的定律——那些并非包括在我们模型设计方案之中的明显恒等式的定律。它们涉及原子、电子及量子的个别性状。它们所引出的东西，并不一定是有永久性的，而是象作用量一类的东西，迫使我们不能不加注意；但因其不能为我们的意识所领悟，所以颇觉格格不入。

爱丁顿说：我们心目中的象作用量一类概念的粗糙性与不可领悟性，也许就是我们终于接触到实在的征候。如果是这样，在科学上，我们几乎又回到了德尔图良（Tertullian）学派的神学格言——**信其不可能者**。

认识论

传统逻辑与数理逻辑。引导我们去研究归纳及用归纳法所得自然律的正确性。我们现在必须根据所得的知识，回过头来研究一般的认识论。在第八章中，我们已经看过马赫与毕尔生如何重新引起科学家对于认识问题的注意，并且企图把当时盛行的粗浅的实在论，转变为感觉论或现象论——这一种信念，以为认识乃感觉及感觉的组合所组成，科学仅为现象的一种概念上的模型，仅足使我们追踪感觉的常规而已。

472

这种论调，当然只不过是洛克、休谟及穆勒的观念的复活，但在当时的许多人看来却是一种新发现。漠视哲学的科学家，对他们的研究成果的意义，大部抱常识性实在论的朴素观点，但也有些听取物理学家及数学家，如马赫及毕尔生的意见，因之在十九世纪的末叶与二十世纪的初期，现象论乃成为相当的风尚。

但是，当时并非所有的人都象马赫那样的走极端。如作者于1904年曾指出，虽然科学以其自身的方法，不能摆脱现象论，但是形而上学却能利用科学的成果，作为一派实在论的有效论据①。

科学自身，只能凭我们五官所得的印象，进行观察与测量：

> 例如电流计，初看起来似乎使我们有了一种新的感官——电感官；但细想一想，就可以知道，当光点在尺上运动时，电流计不过把未知的，译作我们视觉所能了解的语言而已②。

以现代的术语说来，物理科学所研究的，仅仅是指针读数或相当于指针读数的事物；而它用实验方法或数学推导方法所探索的联系，只是一个指针读数与另一个指针读数的联系而已。

科学被分为若干部门，是一种牵强的办法；各不同学科，仿佛是我们对于自然界的概念上的模型的截面——或更确切地说，是我们用以求得一个立体模型观念的平面图。一个现象，可从各个不同的观点来观察。一根手杖在小学生眼里，是一长而有弹性的棒杆；自植物学者看去，是一束纤维质及细胞膜；化学家认为是复杂分子的集体；而物理学家则认为是核和电子的集合体。神经冲动，可以从物理的、生理的或心理的观点来研究，而不能说某一观点更为真实。人们所以认为一切现象的力学解释，既有可能，而又

① *Recent Development of Physical Science*, 1st ed. 1904, pp. 12 *et seq*.

② 同书第14页。

具有根本性，是因为力学在物理科学中发达最早；而其概念、方法与结论，又为一般人所易于了解。然而力学并不比其他科学更为基本，实际上在1904年，物质即已被析为电了。

473 由此可知，归纳科学的工作，在于形成大自然的概念上的模型，而科学靠它自己的方法，是不能接触到形而上学的实在问题的。但是为各种现象建立一个一致的模型的可能性，就是一种强有力的形而上学的证据，说明同样一致的实在是各种现象的基础，虽此实在在本质上同我们心目中的模型非常不同，因为我们能力的限度及我们意识的性质，使我们的模型必为约定的，而非实在的。虽然多年以来，便有人努力想用语言的逻辑证明感觉的对象与科学的模型为虚幻的，而事实证明这一种看法是错误的，但素朴的实在论，以为科学甚至常识所见的事物就是事物的本来面目，这种看法显然也是站不住脚的。但是，正象坎贝尔所认为的，科学对于实在的观念，与形而上学对于实在的观念不同；就科学而论，其自身的概念已足够真实了。

以往的实在论与现象论的争论，牵涉到把知觉与其对象加以混淆，如穆尔(G.E.Moore)在其《驳唯心论》(*Refutation of Idealism*)一书中所表明的[①]。穆尔坚持一个不待证明的事实：当我们有知觉时，我们是对某种东西有知觉；而使我们所有知觉的东西，决不能与我们对它的知觉相同。他还证明：这一自明之理可驳倒当时唯心论者的大部分论据。布罗德说："我们所知觉到的东西，确乎存在，而且具有我们凭知觉知其具有的性质……。我们所能说的最坏的话，就是说这并不也是实在的，换言之，就是当它不是某人知觉的对象时，它就不存在，但是并非它根本不存在。"[②] 我们所

① *Philosophical Studies*, London, 1922, p. 1.

② *Perception, Physics and Reality*, Cambridge, 1914, p. 3.

知觉到的或者是一根手杖，而物理学家从分析的观点严格地去看，便分析为电子或波群；但是这些物理的观念，决非我们对于手杖的知觉。在一个小学生知觉起来，确有一根长而富于弹性的棒存在。由此可知，穆尔及布罗德从另一途径，把我们领出黑格尔的唯心主义及马赫的现象论，但不是回到常识和十九世纪科学上的朴素实在论，而是回到一种更丰富的实在论，既承认感官所知觉到的对象在被知觉到时的存在，同时又与建立在现代数学及物理学基础上的哲学相符合。

罗素与怀德海于 1910—1914 年，发表其伟大的著作《数学原理》(*Principa Mathmatica*)，并且在以后的几本书中，进一步发展了由之而来的对于自然界的观点。这观点或许可以用最简短的 474 形式略述如下：我们对于物质世界的知识，只是一个抽象。我们可以构造那个世界的模型，而探索其各部分之间的关系。我们不能用这些方法揭露"实在"的内在性质，但可以推断有某种东西存在，不以我们对它的思想为转移，而且其各部分间的关系，以某种未知的方式，与我们模型中的各部分相当。

这种新实在论，溯源于洛克。他最初诉诸心理学，后来开始探讨范围有限的哲学问题。现代的实在论者，已经不再先假设完备的哲学体系，再由此推出其特殊的应用。他们利用数学、物理学、生物学、心理学、伦理学——及其他任何他们遇到的学问——研究个别的问题，而象归纳的科学那样，慢慢地把他们的成果拼凑在一起。由此可知，在哲学上也象在科学上一样，正确性的惟一试金石，是自身的一致性。

数学与自然界

要把各方面对科学上应用的认识论的最新贡献给予完备详尽说明，我们就不但要考虑归纳法，而且须考虑数学的演绎法。数学如何能从测量的粗浅事实与机械技术（其中并无点、面、质点及暂时组态一类理想的东西存在），求得其点、面、质点及暂时组态等理想的抽象呢？数学又如何能把从分析抽象所得的知识，应用来阐明粗疏的世界，而竟在数学物理学中得到这样的成就呢？

对于自然科学中的这个与其他哲学问题，怀德海的贡献很多，特别是他的《外延的抽象原理》① 一书。在这里，我们对这部著作的概要略加叙述。对于数学原理不感兴趣的读者，可略去这节不读，亦无损于本书的连贯性。

科学不管所用的任何项的内部性质，而仅研究其互相的关系。因此，任何一组项如具有一组相互的关系与他组数项所具有的相同，则此二组项为等值。无理量，如$\sqrt{2}$及$\sqrt{3}$，在数学中可以当作数看待，因为它们服从整数所服从的同一加与乘的定律。所以在此意义上，它们是数。

又$\sqrt{2}$与$\sqrt{3}$普通定义为：平方小于2或小于3的有理数所组成的级数的极限。但我们不能证明此二级数确有极限，因而此定义实等于虚设。另一方面，如果我们的定义说$\sqrt{2}$与$\sqrt{3}$不是级数的极限，而是级数的本身，则我们求得的量，包含有意料以外的内部结构，但确实存在，而且可以证明其彼此之间，及与其他数学量之间具有的相互关系，与一般定义的$\sqrt{2}$与$\sqrt{3}$所具有的相同。因此，这新的定义，可用以代替旧定义。

怀德海证明最初为无理数所发现的原理，也可应用于几何学

① *Principles of Natural Knowledge*, *Concept of Nature*. 简单的叙述可看 Broad, *Scientific Thought*, pp. 39 *et seq*。

及物理学。例如关于点的老问题：一点可定义为一组一个套一个愈来愈小的同心球所成级数的极限。这定义，于几个目的上，颇为有用。但是体积无论小至什么程度，究竟还是体积，而此定义遂不免与其他目的上需用的定义（一点只有位置而无大小）相冲突了。

如果我们定义一点不是一个体积级数的极限，而是这级数的本身，这样定义的点，即通常所谓该系统的中心。于是我们所得的量，彼此间相互的关系，与前两个老法所定义的点都相同。因此，定义所引起的矛盾，遂得避免，而这些新的点所具有的复杂的内部结构，当不成问题，因科学不涉及内部结构，只考虑其各部分的相互关系。

用这样的方式，怀德海证明了能够感知数学上不能利用的东西（如实在的体积、棒棍或微粒），与数学上能够使用而不能感知的东西（如无体积之点，及无宽度之线，这些是几何学及物理学所必须使用的东西）两者之间的联系。

这种思考的方法，同确立已久的热力学的方法相似。热力学把一个系统的内部结构与变化视为不相干，而实际上确是不相干。所考虑的，仅是该系统吸入及放出的热量和别种能量。分子理论对该系统的内部性质给予一种说明，但热力学对这种说明既不表赞同，也不表示反对。如果能提出另外一个理论规定同样的外部关系，那对热力学也是一样。关于此点，在溶液理论中有一个很好的例子①。

范特·霍夫以热力学证明：溶液的渗透压力，与普通的气体压力，必然具有相等的数值，而且遵照同样的物理定律；因此有许多物理化学家以为范特·霍夫的理论要求压力的原因应为相同，也

① 参看本书247页。

476 就是分子的冲击。其实,热力学上的关系,自然与不管什么"原因"都相符合——化学亲合力也好，分子冲击也好。

再举一个例子。在一个最近开辟的物理研究的领域中，海森堡所用的数学与薛定谔所用的数学,确是殊途同归,虽然前者采用玻尔的电子及能级,但不用他的电子轨道，来探求原子的结构;而后者则采用波动力学的基本观念,以解决同一问题。这里,这两种关于原子内部性质的观点,是用相似的数学方程式表达出来的,虽然其所用的物理概念不同,但在科学的最终目的上,则完全一样。

这种结果给人的哲学上的教训是：我们一方面必须以保留与审慎的态度，去承认人们不断用来代表关系量——即具有物理关系的量——的想象的模型，另一方面对于科学所给予我们的有关这种关系的有增无已的知识，可以随意加以利用并给予愈来愈大的信赖。这种知识是一个概率的问题，不过这种知识正确的概率是很高的,而且大部分在很快地增高。它是足够好，足资运用了;这种关系的真实性并不依赖关系量自身的实在性。



牛顿的坚硬而有质量的质点，在麦克斯韦看来,象十九世纪的原子一样,已经打上制成品的戳记,但到十九世纪末叶,已经有了不能说明事实的征候了。凯尔文的旋涡原子与拉摩（Larmor）的以太应变中心，都是想以更基本的方式来表述以前所谓的终极的科学概念。

麦克斯韦证明光是电磁辐射。这成为弹性固体光以太学说寿终正寝的先声;而 J.J. 汤姆生的质点与洛仑兹及拉摩的电子合而为一,也同样地把物质归结为电。无疑的,世界已变得更难于了解了。当时的人们,本来以为他们知道有质量的原子是什么,空间以

太中的横波是什么；现在，他们不得不承认对于电的内在性质或电磁振动的意义，他们所知甚少。

在下一个阶段内，电子与质子在新物理学说中，应用日见成功。我们已习惯于在头脑中思考它们，它们已变成熟悉的观念了，以至玻尔与索末菲几乎使我们相信，他们奇妙的原子模型，足以代表物理实在，当然不是形而上学的实在。但在他们尚未做到这一 477 点以前，他们的理论就垮台了；同时海森堡的工作证明，行星式电子观念的基础实在包含了多少未经证实的假设；并且证明我们把牛顿天文学的先入之见搬入了原子物理学。关于原子，我们所真正知道的不过是进出于原子的东西。对我们来说，电子不过是辐射的来源与辐射的吸收者，我们只能在它们不连续的放射能量的瞬刻，去侦察它们、研究它们。对于我们，它们是辐射，一切不过如此而已。从另一观点，德布罗意与薛定谔也还用数学上与海森堡的方法等价的方法，把原子或其组成部分分析为波动系统，而波动也许只是概率的交替而已。

但是我们不要忘记了历史的教训。热力学免除了原子的概念，而在新物理学开始采用极端形式的原子观念以前不久，奥斯特瓦尔德最后建议废除这种概念而采用唯能论。我们可能有一天会在原子构造的问题上找到新的证据。但是已有种种迹象说明，我们正在接近自然界的物理模型的极限。至少在今日，新量子力学独掌霸权，我们不得不用数学的方程式来解释现象。

按照从前物质的观念，物质被析为分子及原子，原子又被析为质子与电子。今天又将这些分解为辐射之源或波群：分解为由一中心向外进行的一组事件了。至于存在于中心的是什么，载波而行的介质是什么，（如果波动方程式的确意味着有介质中之波存在的话）我们却毫无所知。并且关于这些组成电子的波系的可能的

知识的精确性，似乎也有一个基本的极限。我们如果从方程式算得一个电子的精确位置，其速度就变成不确定的了；如果算得其精确的速度，则不能精密地确定其位置。这个测不准性，是同电子的大小与用以观察它的光的波长二者之间的关系有联系的。如果光的波长大，则不能看得电子的精密界限；如将波长减小到可以得到精密的界限，则辐射又将把电子踢出其原来的位置。这里，似乎有一个不可能达到精确知识的最后极限，一个不能克服的根本的测不准性。人类的知识好象已逼近最后极限了。

478 通过相对论也达到相似的结果。过去的哲学家以为物质在实质上是占有空间的东西，而空间是通过时间经久不变的。但是今日则以为空间及时间对于观察者是相对的，没有一个宇宙的空间，也没有一个宇宙的时间。三维空间中不灭的物质团或电子没有了，而有了四维时空中一串的“事件”；这些事件有的似乎以某种方式相关连，而表现为一种经久存在的情况，如海中的一波，或一乐音。超越距离的力，特别是万有引力及“解释”它们的必要性，也都消逝了。只有微分的关系，联系着时空中邻近的事件。物理实在归结为一组哈密顿方程式。旧的唯物论死亡了；而甚至一度取代物质微粒的电子，也已变成了失落肉体的灵魂——仅不过是波动形式而已，甚至不是我们所熟知的空间中之波，也不是麦克斯韦的以太中之波，而是用我们意识所不能领悟的措词来描绘的四维时空中之波，或概率图式中之波。

并且，即令作为失落肉体的灵魂，它们的生涯仍很短促。可以解释太阳及其他恒星所放出巨量辐射能量的唯一已知的原因，就是质子与电子的相互毁灭或氢嬗变为其他原子。我们地上的物质，也许是由不能复燃的死灰组成的，但在恒星和星际空间里，这些变化是可以发生的，而宇宙中一部分物质也许正在化为辐射。因此，

过去似乎如此熟悉，如此富于抵抗力，如此永存不朽的物质，今天已变得不可思议的复杂了。它以微小电子或其他种粒子的形式，散布于空间或原子核周围；或以波群的形式浸透于原子的全部，而且更化作辐射而不断消失；即专以太阳而论，也以每分钟二万万五千万吨的速率在消失。

自由意志与决定论

人是不是一架机器的问题，已在第九章中从现代生物学的观点讨论过了。有些生物学家还坚持生命的活动不是力学、物理学及化学所能完全说明的，而表现出一种为生物所特有的功能的配合或一体化。机械论者回答说：生理学与心理学的一个又一个的领域被生物物理学和生物化学归并去了，而且这一进程似无止境。第三种意见，承认物理的与化学的机械论是科学知识进步所必需的假设。但此种意见，或者是把新活力论的目的论溶化在更广泛的普遍的目的论中，或者是对这个问题采取主观主义的见解，认为物理学、生物学与心理学是随观察整个人的各种不同角度所遇到的问题而异的。 479

从历史的观点看，我们已说过活力论与机械论更迭的互相消长，甚至从希腊的哲学的时代以来，就是如此。但虽未得定论，我们对此问题的真实性质，已经得到比以前任何时候都多的证据；即令我们还不能把它解决，至少也能把问题提得更加清晰。

如里奇所说[①]，生命很奇怪地为其物理环境所制约，但在若干方面，又不依其环境为转移，而与任何无生命的东西不同。有理性的人首先应该做的是，满足于所知者甚少，而不知者甚多：

① *Scientific Method*, p.177.

任何一个多血气质的人，一见生命依赖于物理环境，……就以为他离解决一切问题都已很近，这是很自然的。他以为他正在对生命的堡垒进行最后的攻击；但当战争的狂热过去、他可以清查自己的成就时，他就发现他所攻克的，仅仅是一个无足轻重而几未设防的外围工事，堡垒本身，仍如以前一样相距甚远。

但是，如里奇继续说的："重要之点，乃是'机械的'方法，究竟还给予我们一些知识，事实上，我们已有的知识几乎全部是机械的方法赐予的。"要在生理学或甚至心理学的研究上取得成就，必须假设以后的问题都可以用力学的、物理的或化学的方法，加以解决，虽然这个假设不一定使我们对于整个哲学问题或甚至生物学问题都怀抱偏见。新活力论者仍然声称，生命过程是受到调节的，可以用物理学或化学力所不能及的方式保证有机体正常状态的维持或孳生。其他人如J.S.霍尔丹教授等，也依然可以说，虽然机械论不能给人完全的解释，活力论者所强调的调节也是一种机械的环境的结果。由此可见，机械论与活力论都归于失败。但是"实在"的内在本性，要求有一种整体化或协调，特别是在生物中所表现的[①]。克洛德·伯纳德及其信徒所应用而卓有成效的适应环境的观念，在生理学中也许已证明具有根本重要性，正象物质及能量守恒的原理在物理学中具有根本重要性一样[②]。

480

当我们的眼光从生物学转移到物理科学的时候，我们对决定论这个老问题就有了一个完全新的看法。近代以来在牛顿的研究成果基础上经过改造而在十八及十九世纪风行一时的哲学上的决定论，今天已不再像从前那样得到物理学的证明了。人所称道的

① J. S. Haldane, *The Sciences and Philosophy*, London, 1929.

② C. Lovatt Evans, *Brit. Assoc. Rep.* 1928, p.163.

老的科学定律，今天已证明或者是我们插入自己的自然界模型中的公理，或者是概率的陈述。即令在本学科中涉及大规模现象或统计现象的那一领域中，科学家对于自己的预言能否得到证实，充其量也只能打一个稳操胜算的赌博，而对于原子与量子的行动，他根本就无法预言。

即令承认熟悉的定律，是或然的趋势的表现，这种定律所涉及的，也不是单个分子、原子或电子，而仅是统计的平均数。我们如果加热于一气体使其温度增高一度，我们可知大量分子所增加的平均能量有多少；但是某一分子的能量，则视机遇的碰撞为转移，今日还无法计算。我们能预言在一毫克的镭中每分钟有多少原子要蜕变，而且我们的预言，也可证实到相当小的误差限度；但是我们不能预告某一原子在何时将爆裂。我们知道多少电子会在某一温度下发射一个能量子，但不知道某一电子在何时会坠入一新轨道而致发出辐射。将来或有一日，有一新的力学理论产生，使单个别的分子、原子与电子有变得可以测量的可能，但至今尚无此种学说的征兆。

实际上，今日的趋势指着另一方面。测不准原理，似乎给自然界带来一种新的不可计算性。迄今所说的测不准，可能是由于知识的缺乏，到知识增长后，或可成为决定论。如果在这基础上去建立自由意志的哲学，是危险的。但如爱丁顿所指示的，薛定谔和波尔的研究成果说明，物的性质中确有一种测不准情况。若将电子的位置计算准确，则其速度就不可计算。反之，若将其速度测准，则其位置就成测不准。有些人认为，这种互相交替的测不准，似已表明：科学上的决定论的论据，归根结蒂，已归无效。但是也有人主张，这种“测不准”只说明用我们的测量体系去对待物理学领域以外的问题，是不胜任的。 481

这第一种测不准与研究有生命的机体的人所遇到的难题，有某种相似之处，这里不能不提一下。我们在一小的误差限度内，可以预言英国一年将有多少婴孩死亡，或者预言某一年龄的人，可再活多少年。但是我们不能预言某一婴孩是否会死亡，或者某一保险凭单何时会来兑款。这里也如上述，或有一日，新的知识与技术，有可能给予我们预知的新本领，但至今还没有征兆。

我们决不可忘记：为了求得有效的意志自由，自然界必须是有秩序的。最不幸的遭遇，莫过于受制于一反复无常而不可测度的暴君。要做我们自己的生命的主人翁，我们必须有驶过有海图的大海的能力和把持船舵的本领。以现今的知识而论，在统计学上人类或许是命运的奴隶。但就个人言，他所必须服从的机器，虽然是决定了的，却是有秩序的，也许仍然有自由意志的余地。将来的调查，也许证明这一结论言之过早，而与较广泛的知识不符，正如在量子力学中，将来的工作，也许能测定个别原子的生活史一样。科学演进的下一阶段，或许是又向机械哲学方向摆动。但是至少在现时，物理学的情况，不管真实性如何，是指向另一方面。

这个问题，与往昔关于心灵与物质的争论，有密切的关系。十七世纪以前，一般都以为人的灵魂是物质的，与气体是同一性质的东西。但笛卡尔把心灵与物质加以区别。这个观念相传至今，把心灵和物质看做是平行的。要免除笛卡尔的二元论，似乎有两条道路。唯物论者认为物质是惟一的实在，而心灵是虚幻的；唯心论者则随着贝克莱相信心灵是实在的，物质是虚幻的。现象论者如休谟及马赫等的著作中出现一个新的观点：说心灵与物质的概念，是我们观察我们心目中的自然界图样的两种不同方式，或者更恰当地说是科学用以建立自然界立体模型的不同的平面图。现代的许多哲学家，自威廉·詹姆斯以至伯特兰·罗素，把这种观念发展

为所谓“中立一元论”。依此学说，心与物都是由一种更原始而既 482
非心的又非物的东西组成的。

我们对于我们的物质世界模型所代表的实在(如果有的话)的内在性质，毫无所知；而对于心灵世界的内在性质，则尚有所知，就直接的认识说来，心灵世界是更为实在。物理学不能证明物质世界的内在性质，与心灵世界有所不同：心灵的与物质的事件，很可能形成一个有因果关系的整体。

它们之间互有关系，是无疑问的。神经学与实验心理学证明神经作用同时伴有物理的和心灵的现象。生物化学证明，无管腺的内分泌，可以改变人的心理个性。如果以肾上腺素注射于人体，可以产生恐惧的肉体征候，虽然罗素爵士已有实验证明：恐惧的心灵情感，并不一定随这些征候而发生①。然而这些心灵与物质世界的显然联系，并不能阐明二者的最终性质。

在把心灵与物质相比较的时候，我们认识到无论如何，物理学只能给我们提供一种关系的知识，以及把两者联系起来的概念上的关系量；而这种知识只能靠心灵求得并且只存在于心灵中。在这种意义上，心灵确较物质更为实在，或较机械论更为实在，因为在今天，只有在依赖于大群单元的统计学平均作用的宏观现象方面，决定论的机械论才有效，而在考虑个别原子、电子及量子的超微观的底蕴时，决定论的机械论便无效了。

恒星所发的光，达到我们的眼中时，这就是物理学可以追踪的一串事件的结束。但在这整个一串事件中，只有视觉的感觉，是我们可以具体描述的，其他事件就只能用纯粹抽象的与数学的方式加以描述。一个盲人或可了解所有的物理学，但绝不能了解看的

① *Outline of Philosophy*, London，无出版年代，p.226。

感觉。关于事物能否给人以快感的知识，那不是物理学。因此，事情很明白，还有物理科学所未能包括的知识，即我们自己心灵感觉的知识。

这些感觉中最生动而恒久的一种，就是意愿与自由意志的感觉。到现在为止，反对这种感觉的正确性的最有力的论点就是机械的决定论。有人以为决定论是物理科学的必然结果，但爱丁顿以为，如果还有人想为哲学上的决定论辩护，在今日只能凭借形而上学的证据。它的拥护者，不能再用科学来证明了。科学上的决定论已告崩溃，已在保护它的能力的堡垒内部——原子的内部结构——崩溃了[①]。

要科学家去研究意识控制物质的可能的作用方式，今天尚非其时，但哲学家或不妨猜度这类的问题。爱丁顿指出，有人以为，意志可以控制几个原子或一个原子的不定的量子跃迁，这样，靠了一种神经的冲动，就把物质的世界从一个轨道转到另一轨道。爱丁顿认为这是不可能的，而宁愿认为意识可能是通过改变不定的原子群的概率的条件来发挥作用。他说：

> 我并不想缩小承认有生命的物质与死的物质的这种差别的严重性；但我以为其中的困难，即使尚未解除，却已稍微减轻。不改变原子的结构，而仅干涉其不定行为的概率，这种对于自然律的干涉，似乎不象人们提出的意识其他干涉方式那样激烈。

爱丁顿的看法，我们自应重视。但是意识与大脑的联系的机制，当然很明显是一个极端困难的问题。如果轻易相信某种猜想可以解决这个问题，不管这种猜想如何巧妙，那都未免近于鲁莽。目前，最好保留这个问题的现状。经验包括许多方面：物理科学为

① Eddington，同前。

其一，心理学又其一，而且心理学必须承认美学的、道德的与宗教的情感是它的资料的一部分。

科学从现象世界形成抽象，并制订出本身含有逻辑含义的概念。因此，在概念和一切可能而正确的推论之间，有一条不可打破的连锁。所以，科学上的决定论，是由于科学是一种抽象过程而产生的①。例如力学从感觉引起的观念，构成抽象的概念——空间、时间、物质——再根据这种概念建立一个合乎逻辑的决定论的体系；从这种体系中，只能引出与所纳入的抽象概念性质相同的抽象概念。从力学的立足点看来，自然界不可避免地是机械的；而从任何抽象的与逻辑的科学的立足点看来，它是决定论的。但还有一些其他立足点，精确科学无法达到。 484

此外，这一问题与因果问题也是有联系的。如果认为因果关系是先验的，是思想的一种必然性，它的正确性就不取决于科学，而科学对它的结果也不负责任。另一方面，如果认为因果关系须以经验证明，因果律就仅在某些实例上得到证明。在其他实例上，虽然没有否定它的确凿证据，但也不能证明其普遍性，我们也没有理由断定它必须控制人类的意志。人类意志非常不同于因果律也许已证明为有效的那些现象②。

罗素以为人们对于决定论的反感，大部分是由于分析不够造成的。由于分析不够，就把科学所说的非人为的因果关系，与人类意志的观念混淆起来。我们都不喜欢觉得我们是在外来的压力下，违反自己的意志而被迫行动。但当我们的意志，即令从决定论去看，与造成我们的行动的原因一致时，这种感觉就不致发生。如罗

① 比较 R. G. Collingwood, *Speculum Mentis*, Oxford, 1924, p.166, and Whitehead, 同前。

② 见Bertrand Russell, *Our Knowledge of the External World*, p.236。

素所说[1]："总之，自由在任何可贵的意义上，仅要求我们的意志是(事实上也是如此)我们的愿望的结果，而不是外力强迫我们取我们所不愿取的结果。……所以自由意志，只有在那重要的形式上才是真实的。"

机体概念

现在再讨论涉及这同一问题的哲学思想的另一发展。自然科学的普通方法，是用分析方法把问题简化。心理学家在分析之后，用生理学原因来表述其结果；生理学家应用物理学及化学来说明他们的结果。物理学家则剖分物质为原子及电子，而在此中，他们又碰见机械模型全部失败的局面，与似乎具有基本意义的测不准原理。或许他们还可能建立一个成功的原子模型，但到最后，模型的建立，将证明为不可能，而最后的物理概念必将用数学方程式来表达。

但是物理学并非惟一的科学，而科学自身，也非惟一的经验方式。的确，生物学包括分析性的生理学，而生理学每每尽一切力量，把问题简化为物理与化学问题；但是生物学同时也研究把活的机体看做整体的自然历史。心理学并不是只进行感觉及情感的实验分析，而且研究心灵的内部意识与整个人格的内部意识。力求接近实在的综合方法，也如分析方法同样有效。这些理由，使得怀德海坚持认为，还需要一个临时的实在论阶段，来把科学体系重新改造，建立在机体(organism)这一最终概念的基础上[2]。

485

十七世纪发现，世界可以很成功地描绘成一系列瞬时物质组

① 见同书239页。

② A.N.Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927, p.80.

态，这种组态可以决定自己的变化，从而形成一个逻辑上严密的体系，一个完全的机械论的体系。唯心主义者从贝克莱以至柏格森，都起来反对这一体系；但因为未明其真正争论点所在，所以在辩论中遭到失败。这一体系确有其错误，但不是一般所想象的错误。这实际上是本书所多次指出的，那就是把科学所本来需要的抽象，误认为具体的实在，也就是怀德海所说的"具体性误置的谬误"。抽象为分析所必需，但从自然界及经验构成抽象时，就需要把抽象以外的部分略而不论。因此，抽象所提供的科学的图象是不完备的，至于整个存在的图象就更不完备了。决定论的机械论的原理，只适用于十分抽象的实体，即逻辑分析的产物。世界上具体而持久的实体，是完整的机体，所以整体的构造，影响了其各部分的特性。一个原子当形成为人体的一部分时，其行为可能有所不同；它的情况是作为机体的人的性质所决定的。心灵的状态参加整个机体的构造，因此可以改变其附属各部分——直至电子为止——的计划。一个电子盲目地行动，但在人体内，它的盲目的行动就受到身体的整个计划，包括心灵状态的制约。为了加强这个论点，我们可以指出：一个电子在一个原子内是为整个的原子结构所制约的，而与一个在原子以外，游动于"空洞"空间的电子非常不同。由此可知，怀德海是用机体论来代替科学上的决定论。他从与爱丁顿相反的方向来处理这个问题。我们知道，爱丁顿是从原子、电子与量子——物理分析的最后产物——的基础上来攻击决定论的。怀德海则说分析由于它的本质在哲学问题上容易把人引入歧途，因此，他把他的理论建立在完整机体的综合概念基础上。归根结蒂，他诉诸素朴的经验；这些经验告诉我们："我们是在一个声音、色彩与其他感觉对象的世界里面，而这些声音、色彩和其他感觉对象是在空间和时间中同持久的物体，如石、树，及人体联系在一起的。我们自身同 486

我们所感知的其他东西似乎在同一意义上都是这个世界的成分。”这样，怀德海就靠了他自己有很大贡献的新实在论的阐释，采取了与穆尔及布罗德大体一样的观点，从而似乎给我们重新带来了一个关于美和善的世界的科学理论。这个理论，贝尔特(Burtt)以为，是伽利略从我们那里取去的。怀德海以为自然现象的最终单位是事件。他也象柏格森一样认为，实在的本质就是变。也就是说，它是一个不断的和活动的过程，或一个创造的进化。

物理学、意识与熵

在讨论精密科学的意义时，爱丁顿着重指出一点：它所研究的只是物理仪器的读数。例如在计算物体从小山滑下所需的时间时，我们把物体的质量，小山的坡度，与重力的加速度一类的指针读数，纳入我们的计算，而找出另一指针读数，即我们时钟上指针的位置。应用这个方法，物理学构成一个逻辑上严密的知识体系的闭合圈子，其中仅包含一些互相联系的物理概念。用旧的术语来说，物质与其组态决定了力，而力又决定了未来的组态。用现代的术语来说，这个系列的次序如下：势，间隔，标度，物质，应力，势……等，如此反复，永无止境。逃出这种圈子的唯一方法，就是认识到这个无疑的事实：说逻辑图式是否与实际世界符合，只能靠心灵的作用来加以测验。或许只有物理学可以追踪它的闭合的圈子中的扰动，直到这种扰动变成大脑中物质的运动为止，再客观地从外界观察这个运动。但当大脑中的扰动被翻译成意识时，我们就接触到实在。“意识是不是实在的，是不成其为问题的。意识就是自觉，‘实在的’这个形容词并不能增添什么新东西”。

这里，我们又回到了第八章与第九章所讨论的自我的本性问题。自我是象老派哲学所说，存在于经验之前，而与经验无关的实

体呢？还是象现代心理学家所说，是靠感觉、知觉与其他心理活动的作用而形成的复合的第二性的结构呢？这个问题，不能得到一致同意的解答，或者也无需解答。无论是怎样形成的，自我是有意识的。用爱丁顿的说法，自我是自知的，因而是实在的。 487

通常的可逆物理学的方程式，对于运动向哪一方向行，毫未说明。就形式的动力学所能告诉我们的来说，行星也可能按相反的方向绕日而行。这里，又是只有我们的意识才能使我们在一可逆的世界中，区别过去与未来。但在物质的世界中，有一个不牵涉意识的准则。物质的世界不是可逆的，而热力学第二定律告诉我们，在一非可逆的体系中，能量随时间的进行而不断减低其可用之量，熵不断增加。正是我们大脑中进行的非可逆的过程，在我们的意识中引起了时间推移的感觉，是不是有这种可能呢？

熵的这种增加，可用一洗牌机洗纸牌的比喻来说明。在未洗以前，将牌依花色及数序排好。洗过以后，花色及数序都匀混了。除非经过有意的挑选，或由于机会少到不可想象程度的巧遇使各张牌恢复未洗以前的次序外，我们绝不能把牌的次序复原。纸牌的张数愈多，则洗匀所需要的时间也愈长。故洗匀的程度，可用以测量时间，而且因此为一非可逆的过程，故也可用作方向的指针：愈洗愈匀，则表示时间在前进；若各牌自行重返原顺序的排列，那么我们必在反向上去追溯时间。

所以如爱丁顿所说：熵在物质世界中，为时间的指针。如温度之差在减小，能量在变成逸散而更少，熵在增加，则时间的过程为正，我们在向着未来前进。反之，如果我们从方程式中发现熵在减小，可用的能量在增多，则我们应知我们在从末至始地追踪一个过程。

气体分子运动论使我们能够把熵增加的过程，译作分子运动

的过程。若有二器，各盛相等数目的分子，其中一器热而他器冷，则前者所盛分子的平均能量与速度，必较后者所盛分子的为大。今若将此二器连通，则分子的碰撞，将使分子的平均能量趋于相等，直至分子速度的分布，遵照麦克斯韦与波尔茨曼的定律。这是一个最后的状态，要使这种最后状态恢复最初状态，只有靠有意识的行动如麦克斯韦的魔鬼的那种想象中的行动，或由于一种极不可能的机遇，以至全部运动较速分子都跑到一个容器中。在无穷的时间里，这极小的机遇，也许有偶尔发生的可能；除非有其他比较可能的情况发生，把整个系统颠覆；实际上这后一情况是更可能发生的。

488

天体演化学

自地球中心说被推翻，恒星被承认是远方的太阳以后，宇宙规模估计数的增大，对于人类并无多大的重要性。并且天体起源的问题，为科学的问题，而非哲学的问题。但是天体物理学知识的猛进，确足使我们感到深刻的印象，而叙述其一部分成果，也许有其相当的价值。

我们的银河系含有恒星约数十万万个，而其中最远的恒星彼此的光或需三十万年方能到达对方。在我们的恒星系统以外，广大空间的汪洋中，有数以百万计的旋涡星云，可能是形成中的新星系。其中有些很远，其所发的光，须行走一亿四千万年才能达到我们的眼中。

但是，牛顿认空间是无边际的，今天看来空间却似乎是有止境的，由于散处的物质的存在而呈现弯曲。光如向外继续进行数十万万年，可能重新回到原来的出发点。

人类的出现可能是在几百万年以前。地球的年龄可能约为数

十亿年。内部温度达几千万度的太阳与恒星向外辐射能量可能已有几十亿以至万亿年以上。

地上的九十二个元素，可为恒星内部的热力所毁坏。在恒星上，可能存在有我们所未知的放射性原子。由于这种原子的分裂，或由于质子与电子的相互冲突，物质便可化作辐射，成为恒星生存的能量之来源。地上的原子，即用以组成地球和我们的身体的原子，或许只是这个宇宙过程的副产物，剩余的死灰。

星云假说足以解释巨大星系的形成，而不能说明我们较小的太阳系的产生。要想弄清太阳系的起源，我们必须注意观察某些不常有的现象，例如两个尚为液体或气体的天体适逢行近时所发生的潮汐波。由此可见，在目前的宇宙中，我们所知的生命必需的条件，即使不是独一无二的，也是很少的。看来，所谓生命，或可视为宇宙演化的副产物中微不足道的偶然现象；也可看做是创造性演化的高度努力的最高表现，由于时间和空间的巧合，只有地球才能成为它的安适的家乡。科学能提出时空合适位置的各种不同估计但孰是孰非，则无论如何，非今日所能决定。

489

宇宙的未来又将如何？凯尔文爵士提出的能的逸散原理，以及克劳胥斯提出的熵向极大值增加的学说，都指示一个最后死亡的平衡状态。在此状态中，热量在均匀的扩散，而物质为永久的静止。新近的观点，已修改其细节，而未变更其结果。活动的物质化作辐射，辐射最后在空间中漫游，这个空间是太大了，以致不能为辐射所饱和，而再行沉淀物质。秦斯算得：每一活动原子可得生存的机会为 $10^{420,000,000,000}$ 分之一。宇宙似乎正在不断化为均匀分布的辐射。

然而如果宇宙依然在不断化为辐射，则必有一个结束的时候，而决不能如此永远进行，换言之，它必将达到一最后的平衡状态。

秦斯说：

一切迹象都以不可抵抗的力量说明，一个或一系列确定的宇宙演化事件将在并非邈远无穷的某一个时间或某些时间发生。宇宙不可能是由其现有的成分中偶然产生的，也不可能如现在一样的继续下去。因为在这两种情况的任何一个情况下，除不能化为辐射的原子而外，不会留下任何原子。宇宙间将无日光，也无星光，只有辐射的一道冷辉，均匀地扩散在空间。这确是今日科学所可见到的全部宇宙演化，终久必将达到的最后结局。①

有些人以为宇宙的最后静寂而死，想起来叫人不可忍受。但宇宙也许不大可能为了使他们高兴而继续维持其存在，不过，在自然的方法中，似乎又有一条摆脱其最后毁灭的出路。这就是霍尔丹及施特尔内所指出的一条出路：如果有无穷的时间，则所有不大可能发生的事情也可以发生。分子巧遇的浓集，可能逆转匀混的作用，而打破热力学第二定律的可怕结果。辐射能巧遇的浓集，或可饱和一部的空间，而新的物质，即是我们旋涡星云之一，可能结晶出来。我们与无数的恒星，也许就是此偶然事件的一例吧？

秦斯所算出的不致发生此偶然事件的概率，虽然极大，但无穷大更大。等候这偶然事件的时间虽然很久，但永恒更久。在无穷久的时间中，这些不可思议的机会之一，或将发生，也有其可能。一个新的“原子的意外的集合”，或可解释过去演化的行动方法，而且当现有宇宙表面上永远化为“辐射的冷辉”之后，重新带来一个新的更始。

490

我们不能说这是很可能的，因为我们的根据已达到或已超过知识的极限。实际上，像分子群的情况一样，其间更有可能发生某

① Sir J. H. Jeans, *Eos, or the Wider Aspects of Cosmogony*, London, 1928, p.55.

种其他机会,阻止此不大可能的偶然事件实现。一切上述的说法,仅是随意的猜度而已。

科学、哲学与宗教

本书前些部分叙述了哲学的观点，从十九世纪物理学的朴素实在论，一直到马赫与毕尔生的感觉论(后者主张科学仅能提供一个概念上的现象模型),而且最近更发展为罗素与怀德海的数学上的半实在论。

随着历史的发展,近些年来,从根本上来说是由休谟与康德传下来的哲学得到了新生,而应用于现代科学,特别是应用可以用数学方式表述的那一部分科学,如物理学①,但是许多研究其他科学与其历史的人并不相信这种哲学走在正确的道路上②，有些人却主张把常识加以系统化就行了③。

相对论与量子论深刻地改变了物理科学的基本原则，在1930年，认识论(或知识论)可以是(而且常是)建立在物质宇宙的所谓本性基础上,可是到了1939年，爱丁顿提出，反过来把我们对于宇宙的概念建立在物理知识理论的基础上，要更好一些。为了发展关于物质与辐射的现代理论,最好先有一个确定的认识论的见解;寻找知识时,了解我们要寻找的知识的性质,是有帮助的。可是有人批评这个办法是回到希腊人和中世纪人的“先验”的方法去②。

知识的来源在于我们的感觉以及我们的感觉所引起的意识的变化。简单的觉察只是感官的认识，但可能是获得个别知识的途

---

① Sir Arthur Eddington, *Philosophy of Physical Science*, Cambridge, 1939.

② H.Miller, “Philosophy of science”, *Isis*, vol, XXX, 1939, p.52.

③ W.S.Merrill, *The New Scholasticism*, vol, XVII, 1943, p.79.

491 径。可是意识是一个整体，如果我们愿意的话，意识可以分析为其组成的部分，但这整体总表现为一幅图象或一个结构。

很多证据表明，相似的结构也出现在别人的意识里，这也说明有一个本原的结构存在于个人意识之外的领域内。这样，这个综合就被转移到外界去，在那里，字谜画的碎片等着物理学理论去加以组合。但是，直到最近，物理学的理论才不但在事实上，而且在形式上成为一种关于数学上的群结构的理论①。

根据新的观点，有一种哲学包含在促进科学进步的方法之内。这个方法认为观测是最高的法庭，但是也考虑到客观上存在而不能观测到的量，例如迈克尔逊-莫利实验里的以太速度，或者相当于现代相对论里的隔远事件的同时性，以及海森堡量子波动力学里电子的位置或速度的不定性。

即使我们把经验的观测当作物理知识的唯一基础，我们也还是因而主观地选择了那种我们认为是物理的知识；这样发现的宇宙不能完全是客观的。认识论科学所研究的是知识的意义，而不是假定的实体(外界)，它的符号就代表了知识的要素。这样我们所达到的是一种有选择性的主观主义，在这里，自然的定律和常数完全是主观的。

但是我们真正观测到些什么？旧物理学假定我们直接观测到的是实在的事物。相对论说我们观测到的是“关系”，而这些关系必然是物理概念之间的关系，物理概念却是主观的。根据量子理论我们只观测到概率；未来的概率是可以测定的，但是未来的观测知识本质上是非决定论的，虽然某一特殊事件发生的机遇可能很高，以致可以认为其具有必然性。但是如果不借助于机遇的定律，

① Eddington，同前，p. 209。

科学便不能对于将来发生的事件作出预言。

科学的各种规律性,可以用观测或实验的办法纳入科学。白光是一种无规律的扰动,可是用棱镜或光栅去研究它,便可求得它的规律性。原子只能以粗暴的干涉法去研究,而这样势必扰乱它的正常的结构。卢瑟福认为他发现了的原子核可能就是他自己造成的。物质消逝了,我们得到的是形式:在量子论中,是波动;而在相对论中,则是曲率。我们所熟悉的自然图象的形式或范型,是我们最容易当作新观念加以接受的,而且这些观念由于被纳入这个形 492 式,便成了"自然规律"——由物理知识的主观方面产生出来的主观规律。所以认识论的方法,引导我们去研究的自然是公认的思想框子内的自然。我们能够先验地预言任何知识必具的某些特性,只因为它在这框子之内,虽然物理学家可以由果溯因地重新发现这些特性。

我们所用的数学也是这样——在我们把数学引入物理学的体系内以前,数学是在物理学体系之外的。我们把数学引入进行运算能否成功,全取决于我们的经验相互联系的程度。就数学的观点说来,所需的程序是包含在所谓群和群结构的理论之内的。

原子结构的各种超微观定律(现在溶合在量子波动力学中),在质点数目变得很大时,归聚于古典物理学关于物体的各种定律(现在表现在相对论中),因而须用统计的方法去研究它。超微观定律在理论上概括了全部物理学,从原子的角度给我们的知识提供了一个框架。

米勒(Miller)认为,如果有任何形式的主观哲学发达起来,它会削弱,最后毁灭观测的科学。两千年来从唯理论到经验论,科学经历了三个阶段。希腊科学家想通过理智的或理性的洞察力去寻求定义。他们相信那些描写普遍形式或结构的定义,而且他们并

不把这种结构看做是一定现象的变化不已的实际情况，因而希腊科学是先验的。十七、十八乃至十九世纪初期，科学抛弃希腊的先验论，保留普遍性而修改了唯理论，不容许理论与个别事实之间有什么矛盾。达尔文和赖尔说明了有机物种的变异性从而打破了自然律的普遍性和不变性的观念，引入了进化的历史分析法，于是有人认为这才是真正的经验科学。经验论者正是把这种经验科学同新近复活的认识论的各派哲学对立起来。可是物理学的理论仍然很少受到进化观念的影响，因而认识论的方法仍然有活动的机会。

在作者执笔写本书初版最后一节的时候，当时看起来科学所493遇到的最大危险是美国的反对进化论的"原教旨主义"运动。但是以后出现另外一种更大的危险。在德国纳粹政权兴起到灭亡这段时期内，科学研究的自由，象别的自由一样，在德国和德国所控制的别的国家内遭受到狂暴的国家主义的摧残，象爱因斯坦和哈伯这样的人，都因为种族歧视，而遭到放逐。这些国家利用应用科学和一切其他活动，先是进行秘密的军事准备，后来就是进行公开的掠夺性战争，把这当作科学的主要目的，差不多是唯一的目标；因而为求知而求知的纯粹科学便被抛弃了。不幸，科学主要是为了发展经济的观念，传播到许多别的国家，科学研究的自由又遭到危险。科学主要是追求纯粹知识的自由研究活动。如果实际的利益随之而来，那是副产品，纵然它们是由于政府资助而获得的发现。如果自由的、纯粹的科学遭到忽略，应用科学迟早也会枯萎而死的。

布里奇曼（P.W.Bridgman）研究了相对论与量子论对物理学

理论的影响[1]。新的实验揭露新的事实，并且，需要新的物理概念；这一切都取决于发现和研究这些新的事实的活动，换句话说，它们是相对于观测者而言的。如果我们了解这个道理，我们便不会害怕将来的思想革命，如象爱因斯坦和普兰克在过去所引起的那种思想革命的影响，我们也不须改变我们对于大自然的态度。我们必须了解逻辑、数学和物理学的理论都不过是我们发明的一些工具，用来把我们已经知道的知识用一种简明合用的方式表述出来，因而不能够达到完全的成功。

当我们尝试叙述科学的现状与将来展望时，一部同哲学和宗教联系起来的科学史，于我们实大有助益。实际上，如果没有初步的历史研究，而要叙述科学的现状和展望未来，这种企图是否有价值，颇属疑问。研究具体科学问题的人，或许不需要历史，但如果要想了解科学自身更深的意义，及其与人类思想及活动的其他学科的关系，人们对科学发展的历史，就必须有所了解。

科学的成就是尽人皆知的。它在工程、工业、医药方面的实际应用，对于现代国家生活的影响也日益增大。如果世人真的愚顽凶恶而允许另一次大战发生，则科学在毁灭性武器方面的滥用，将使文化受到灾难的威胁。纯粹科学，正在从原子的小宇宙，以至旋涡星云和星系的可见的大宇宙，改进及扩充我们对于自然界的模型。这模型中旧有部分的关系，日益明了，新的部分陆续增加，增加速度之快，几乎使大胆的建筑家都没有时间把它们安插在旧的结构之内。当前进的步子稍微慢下来的时候，未来的一代，就能像上一代一样，把这座大厦统一规划，加以完成。至于现在的一代，

494

① *The Logic of Modern Physics*, New York, 1928. *The Nature of Physical Theory*, Princeton, 1936.

则因急忙过甚，无暇及此了。

中世纪的人，力求达到知识的完全的合理的协调，把这当做是哲学及宗教的目标，而且大部份人都以为在托马斯·阿奎那的经院哲学的综合中做到这一步。伽利略与牛顿的物理学，推翻了这个自成系统知识体系；科学采取了建立在力学基础上的常识性实在论的态度，而且被用来证明机械决定论的哲学。同时在日常生活中，人们仍保持一种牢不可破的信念，以为他们是自主的机体，只受自己的自由意志的支配。许多人想把这两个相反的观点调和起来，然而，都归于失败。不得已，他们只好取其一而舍其一，或暂时兼取二者，以待将来的发展。

然后，如我们这几页所说的，哲学家们已经开始明白，科学只能阐明实在的某几方面，只能绘出平面的图形，作为自然模型的轮廓。科学正是由于它自己的定义、公理和基本的假设，必然是机械的与决定论的。

前一些时候，科学虽然已经脱离经院哲学的综合，但至少其自身是一致的。的确，正如凑合七巧板的各件一样，自身一致，曾经看做是正确性的唯一试金石。但是到了现在，事情虽然或许是暂时的，但很明显：科学给一般思想界带来了自身的不一致性，使科学不但在其上层结构，而且在其自身所根据的基本物理概念上，发生动摇。

近年来物理研究，进入了一种特殊的状态，或者说进入了十七世纪以来前所未有的状态。一方面它的古典的背景，即牛顿的动力学与麦克斯韦的电磁学，依然在应用，依然在产生具有伟大价值的成果。但另一方面，在今日最惊人的发现——原子结构的理论——方面，古典的定律又已失其效用，而我们不得不接受相对论与量子论的概念。正如威廉·布拉格爵士所说："我们在星期一、三、

495

五应用古典的理论，而在星期二、四、六应用量子论。所谓自身一致性，至少在目前已被抛入大海，我们只看我们遇到什么问题来决定采用这两套观念中的哪一套，以求得结果。”这种矛盾，在一个伟大的知识革命时期，正如在亚里斯多德与伽利略的观念互争权威时期一样，多少总不能免。不过现在的例子，似乎是这种趋势的极端表现形式。布拉格忘记指出我们在星期日甚至可以采取第三套的观念。

科学必须承认宗教经验在心理方面的有效性。很明显，在有些人看来，对于上帝的神秘而直接的了解，正象他们对于人格的自觉，或对于外界的知觉一样真实。正是这个通神的感觉，及其所引起的敬畏与崇拜，构成了宗教——对于一般人来说，仅仅是受到灵感的瞬刻所看见的幻境，但对于圣徒来说则是一种与生命气息同样正常，无所不在，而永远存在的经验。我们无须、而实际也不能明定上帝的定义为何。凡认识上帝的人，也用不着要定义。

软弱的人性需要偶象以表现其幻觉，创设教仪，接受教义，神学或甚至神话。这些体系，可真可假；但是宗教本身并不随任何一套教义而存废。教义受到历史、哲学或科学的批判，常常被批判得体无完肤，然而真正的宗教是一种更深奥的东西——建立在直接经验这一块不可动摇的磐石之上。有些人也许是色盲，但可以看见东升旭日的光辉者，也大有人在。有些人也许没有宗教感觉，但在上帝的超越荣光之中，生育长养与之俱在者，也大有人在。

对于大多数来说，某种教义是宗教生活不可缺少的。如果不顾这一事实，而另立无教义的新宗教，是无济于事的。但是在有教义的神学范围内，时常都有与科学、历史或人类学发生冲突的情况。麻烦在于：“宗教往往误认为它所说的就是它的意义所在，而唯

理论者则偏偏要指出它所说的是不真实的"[1]。然而就是在这方496面，不同的思想形式，也渐趋于接近。基督教的神学，已经不得不放弃使徒时期视为精义的基督即将第二次出世的信念。后来又不得不承认哥白尼的体系，而把地为静止的中心，天堂之门就在天空，地狱之路即在地下等一整套说法，统统加以摈弃。它不得不承认达尔文的进化论，不得不同意人类的祖先是猿猴而不是天使。它如果真正了解现代人类学所包含的意义，可能也不得不放弃其他一些信念，在一些怯懦的人们看来，这些信念现在是必不可少的，正像当初我们的祖先认为地居中央，与上帝创造世界一类教义是必不可少的一样。

不幸，在每一种变革刚刚开始的时候，宗教总是起来反对。如怀德海所说[2]：

> 宗教如果不用与科学一样的精神接受变革，它就不能恢复其固有的权威。宗教的原理或可永存；但此种原理的表现，需要不断的发展。…… 宗教思想可以发展为愈来愈精确的表现，摈除外来的偶像；而宗教与科学的互相作用，就是促进这种发展的一个重要因素。

科学趋近于神学比较迟缓——实际上，有很长一段时间，它似乎逼迫哲学接受了机械的决定论。而且十九世纪的决定论，接受了当时盛行的人类必有"进步"的观念，表现了一种相当肤浅的乐观主义。但是二十世纪的决定论，却是坦率的悲观主义了。罗素说[3]：

> 人是许多原因的产物，这些原因对于要达到的终局，并无预知；他的起源与生长，他的希望与恐惧，他的爱情与信仰，不过是原子偶然配合的结果；热

① R.G.Collingwood, *Speculum Mentis*, p.148.

② A.N.Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927, pp. 234, 236.

③ *Mysticism and Logic*, p.47.

情、英勇、思想与感情的坚强，都不能维持个人生命免于死亡；一切时代的一切劳绩，一切精诚，一切灵感，一切人类天才的光辉，在太阳系的火熄灭时，都注定要绝灭；人类成就的整个大厦，将必不可避免地埋没在残破的宇宙废墟中——所有这些情况，即使不是绝对无可争论的，其确定的程度，已使任何持异议的哲学，都没有站住脚根的希望。

在另一方面，这个悲观的决定论，使那些仍然承认宗教的有效性的人，更加着重宗教。当然，我们很容易引证许多正统神学家的见解，但因我们在此仅研究科学思想的影响，让我们引证一下另一位伟大哲学数学家的观点吧。怀德海说[①]：

宗教幻境的事实，及其不断扩展的历史，是我们保持乐观主义的一个理由。舍此以外，人生只是一道偶尔享乐的闪光，照亮了一团痛苦与悲哀——一个瞬息经验的插曲而已。 497

还有些哲学家，例如爱丁顿以为认识论的日益为人理解，以及基本物理学中最近的发展，似已削弱了科学给予哲学上的决定论的支持。

无论如何，我们至今已更能认清科学的能力与限度了。科学（或许除却原子理论及量子力学）本身，可能是决定论的。然其所以如此，是因为科学按其本性来说就是研究自然界的规律性的，只有在它找到这种规律的地方，它才可以起作用。前面我们已屡次找到理由说明科学的概念只不过是模型而已，并不是实在。现在再引爱丁顿的话：

物理学中许多实体的象征性质，已经得到公认。而现今物理学体系的表述方式，使人一看差不多就自然明白这个体系是一个更广大的事物的片断。……科学世界的问题，是一个更广大的问题的一部分，一切经验的问题的一

① Whitehead，同前，p.238。

部分。我们都知道人类精神的有些领域，不是物理世界所能管制的。在对于我们四周万物的神秘感觉中，在艺术的表现中，在对上帝的皈依中，灵魂在向上生长，并且在其中找到其天性固有的渴望的满足。……不论在科学的知识追求上，还是在精神的神秘追求中，光明在前面招唤，而我们天性中汹涌的目的，在后响应。我们难道不能听其如此吗？还是真的有必要把"实在"那个安慰的名词引进来呢？

我们对于自然界所拟的科学模型异常成功，致使我们有了愈来愈大的信心，相信实在是与这模型类似的东西。但是模型依旧是模型，模型只能适合我们的意识切成剖面，加以研究。从机械观点看人，人自然是架机器。但如果从精神观点看人，则人仍然是一个理性的心灵，与一个活着的灵魂。科学已经认清其真正的意义，不再想用定律的羁绊，来束缚人的精神，而听他用他的灵魂所需要的任何方式自由接近神灵。

探讨现代知识对于各神学体系以及把这些体系当做信条的各派教会所产生的影响，远不如我们已经讨论过的关于实在与宗教的精深问题来得基本重要。讨论这类实际的与现实的争论，或许不在本书应有的范围之内。但当我们考虑过去的时代时，也不可能避免这种问题，而就目前与将来言，我们虽未能尽免个人的偏见，或许也可略抒所见而不致引起误会。

498

科学的知识与科学思想的方式，虽有助于基本的宗教，但与若干宗教信徒的心理颇不相合。这些知识及思想方式的大大扩大，无疑地增强了脱离有组织的基督教会的潮流——现代所特有的潮流。富于批评精神与不关心教会的人日益增多，而留在教会中的，各以不同的理由，照着字面，专心壹志，承认熟悉的教义。同时社会各界占大多数的聪明较差，教育程度较低的人民群众不论在教会中还是在民政方面都得到愈来愈多的权力。这是由于自治和人民

代议制盛行的缘故[①]。分离的过程是积累的，于是观点不同的人们愈离愈远，甚至在盎格鲁萨克逊国家中，现在也是一样。过去，在盎格鲁萨克逊各国，界限本来不如罗马天主教盛行的国家那样厉害。凡是想调协神学思想与现代知识的，都受到双方的攻击。一个杰出的英国天主教徒呼吁说："现代知识与批评同当年授给圣徒的信仰有什么关系?"而原教旨主义者与粗率的、非信徒则问道："那些仅仅在象征的意义上了解自己的部分信条的人，何能自命为基督教徒?"由此可知想要作调停人的"现代主义者"必定感觉这是一件吃力而不讨好的工作了。

但是还有一个方法，可以把必要的思想自由，与承认人类的宗教需要结合起来。我们未尝不可把科学与宗教两者的根本要义(在每人觉得自然的方式下)同时予以承认，而静待时间去解决其矛盾。有意识地或下意识地抱这种态度的人，实较一般所设想的为多。我们可以用逻辑的与历史的理由来为这种态度辩护。从现代人类学与心理学看来，祭礼与教仪先于教义，也比教义更重要，而其本身也具有更大的精神价值。依此理论，如果一个教堂有一庄严而高尚的祈祷仪式，就无须斤斤计较这一仪式所代表的准确教义。教义会慢慢地、稍迟一步地使自己适应于各个时代不断变迁的观点。对于学术的各个部门和哪怕最富于自由主义色彩的神学双方的分歧采取静候态度，这从历史观点来看，是有充分理由的。499
静候态度是英国人思想方法中的重要特点。同时关于祈祷仪式本身，我们最好遵守权威的劝告："既不要过严地拒绝改革，也不要轻易地接受改革，应于两极端间采取中庸之道。"从这一观点来看，我

① 在荷兰教会政府中，有一个更民主化的形式，牺牲"现代主义"而趋向"原教旨主义"。关于这个影响，可参阅：Kirsopp Lake, *The Religion of Yesterday and Tomorrow*, 1925, p.63。

国人民在所有国家中确很幸运：每个人自由地信奉其所喜爱的。英格兰教会规定了历史性的教职与庄严的教仪，规定了它在国家结构中的确定地位。这是使宗教同整个生活保持有机联系所必需的。根据它的章程，它不能强求画一，而必须在自己范围内给天主教、基督教、现代主义派及具有宗教思想的不可知论派，留下自己活动的余地。有些人或许以为这种包罗万象的办法是一个弱点，但有的也认为这是宗教自由的最高保障。

科学与宗教的前途并非没有危险的征兆。美国有“原教旨主义”的运动，如禁止在学校中教授进化论，英国有人为的中古主义的复兴。欧洲许多国家有宗教迫害，压制思想和言论自由，即令在别的国家，有些阶层的人时常表示对于科学本身的憎恶。的确，平衡冷静的科学头脑，依然为许多人所厌恶。这些人在没有确实证据以资判断时，并不能暂时不作判断。如果世人都受感情支配而不受理智支配的话，这种危险将更增大。

即令把愚昧与成见排除外，还有一种正直而可以理解的观点上的分歧。在有些学者或神学家看来，科学家有时似乎是用了十分肤浅的方法，忙忙碌碌研究琐屑的事实与无足轻重的问题。反之，在哲学家及科学家看来，如果他们不顾基本的真相，而仅注意于文字的解释，看来将如休谟所说的：“通俗的神学对于荒诞无稽之谈，胃口是很大的。”这里，历史方法，又使我们能够透过琐屑细事的表面，看到隐藏在电流计指针摆动中，或蝴蝶翅膀的花纹中的自然界的秘密，而且在天主教的深闭修身中，或在原教旨主义者的不可思议的信念中，去寻求灵魂对于真正宗教的探索。“了解一切便是饶恕一切”。

500 不顾世人的无知、愚蠢与任性，自伽利略时代以来科学方法确已攻占了一个又一个阵地。从力学到物理学，从物理学到生物学，

从生物学到心理学，科学都能渐渐地适应其不熟习的领域。研究好象永无止境，有人说的好：知识之球愈大，则其与未知界接触之面也愈大。

物理学家因为同最后的概念打交道，所以总是比较能领悟这种外界的黑暗。每当一个现象能用物理学的术语，如物质、力、能，或其他当时流行的概念表达的时候，生物学家就往往以为他们找到了最后的解释；而物理学家却知道解释的困难至此方才开始。生物学家在可能范围内，把他们的问题归结到物理学，固然是正当的；但生物学家也有其本身的基本单元。怀德海曾指出机体概念在物理学上与生物学上的哲学的重要性。这个概念过去在自然历史中，近时在进化论的研究中都曾应用过。机体就是生物学的单元；但是由于机体受到物理及化学定律的制约，所以我们还必须用分析方法加以研究，并在可能时用物理学的术语来表述它的活动。

同时，现今的物理科学现在对它的最终概念背后的奥秘比以往任何时候都有了更充分的了解，对它支配自己的王国的力量比以往任何时候都更有把握了。有时它以青年冒险的热烈精神冲进新的领域，还没有来得及在新占领的领域内建立秩序。因此，一个知识的大综合，看来就要出现了。这个知识的大综合要把不同的观念调协起来，使混乱变为一致。这样，物理科学就不断地扩大了我们对于自然界现象的知识，和我们对于我们用来解释现象的概念（不管是最后的还是近似的）之间的关系的了解。在它的新国度上，它替人类的心灵建立了更多的大厦。并且它钻得如此之深，在这一代的人们看来，似已暴露出它的基础而达到下面未知的底层，这底层的性质当然与上层构造不同。牛顿曾说："自然哲学的任务，是从现象中求论证，……从结果中求原因，直到我们求得其最初的原因为止。这个最初的原因肯定不是机械的。"在电子、波群以及

作用量子内，我们看到了一些肯定不是机械的概念。我们不情愿抛弃二百五十年来我们用来解释自然界结构而卓有成效的、我们所熟悉的概念上的机械论。在其本身范围内，科学将继续利用这个机械论来扩大人类控制自然的能力，来更广阔地了解和洞察自然现象之间惊人而复杂的相互关系。也许眼前的困难将被克服，物理学家将制订出一种新的原子模型，可以暂时满足我们的心灵。但明白易懂的机械论迟早终将失败，而我们仍将面对着那个可怕的奥秘，就是所谓实在。

人 名 索 引

人名按英文字母顺序排列。有异译的，附列于后。非英语国家人名，酌附原名。年代和地点系指生卒年代，生卒地点。括弧后所注页码是指原书页码，排在书页外侧。

举例：Abelard（英文名）
阿伯拉尔（汉译名）
阿贝拉德（异译）
Petrus Abaelardus（拉丁文名）
Pierre Abélard（法文名）
法国南特（出生地）
1079（出生年）
1142（卒年）
克律尼（卒地）
80（原书页码，见本书133页）

请仿此索查

* * *

本书 476 页提到“1912 年道森、伍德沃森在英国苏塞克斯郡辟尔唐地方发现类人遗骸”，后来证明是伪造的。1953 年，经维纳(J. S. Weiner)、奥克利(K. P. Oakley)和克拉克(W. E. Le Gros Clark)等鉴定为赝品，鉴定报告发表于当年《英国博物馆简报 · 自然志 · 地质学 · 第二号》。参看我国学者李沨、夏鼐、田汝康的论文，见《科学通报》1954 年第五期、第八期，《光明日报》1954 年 6 月 10 日。——编者注